

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Terjadinya perubahan iklim di Indonesia tidak terlepas dari pengaruh semua kegiatan manusia baik di bidang ekonomi, industri, transportasi serta dukungan dari beberapa unsur alami. Hal ini menunjukkan bahwa dari berbagai kegiatan yang dilakukan tersebut maka akan membawa dampak pada kondisi iklim yang ada baik secara langsung maupun tidak langsung. Dampak tersebut tidak lain adalah dihasilkannya beberapa macam gas utama yang disebut dengan istilah gas rumah kaca (BMKG, 2012).

Berkaitan dengan perubahan iklim maka yang menjadi pemicu munculnya peristiwa tersebut adalah terbentuknya gas rumah kaca. Menurut Konvensi PBB mengenai Perubahan Iklim UNFCCC (*United Nations Framework Convention on Climate Change*) terdapat 6 jenis gas yang dikelompokkan sebagai gas rumah kaca (GRK) yang diantaranya ialah Karbon Dioksida (CO₂), Dinitroksida (N₂O), Metana (CH₄), Sulfurheksafluorida (SF₆), Perfluorokarbon (PFCs) dan Hidrofluorokarbon (HFCs) (Trismidianto dkk, 2008).

Upaya penanggulangan untuk mencegah meluasnya dampak dari pemanasan global yang mengakibatkan perubahan iklim yaitu salah satunya dengan dihasilkannya suatu kesepakatan bersama secara internasional yang tertuang dalam Protokol Kyoto. Berdasarkan hasil kesepakatan tersebut disebutkan bahwa negara-negara industri di beberapa negara maju diwajibkan untuk melakukan proses penurunan emisi gas rumah kaca (GRK) dengan rata-rata sebesar 5,2 % dari tingkat emisi tahun 1990 pada periode tahun 2008-2012. Selain Protokol Kyoto, upaya penurunan emisi lainnya dapat ditempuh diantaranya melalui proses perdagangan karbon, implementasi bersama dan mekanisme pembangunan bersih yang bersifat ramah lingkungan.

Menurut informasi yang diperoleh dari Kementerian Lingkungan Hidup dalam *Indonesia Second National Communication* tahun 2010 menyebutkan bahwa pada tahun 2000, total emisi gas rumah kaca untuk tiga gas rumah kaca utama yaitu

CO₂, CH₄ dan N₂O tanpa penggunaan lahan dan perubahan tata guna lahan dan kehutanan yang mencapai 556.728,78 Gg CO₂e. Dengan adanya inklusi (*Land Use, Land Use Change and Forestry*) LULUCF, total berat bersih emisi gas rumah kaca dari Indonesia meningkat secara signifikan sekitar 1.377.982,95 Gg CO₂e. Selengkapnya informasi tentang emisi gas rumah kaca pada tahun 2000 dapat dilihat pada Tabel 1.1.

Tabel 1.1. Emisi Gas Rumah Kaca Tahun 2000

| Sumber | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O | PFC | Total |
|-------------------|-----------------|-----------------|------------------|--------|--------------|
| Energi | 247.522,25 | 30.174,69 | 3.240,64 | NO | 280.937,58 |
| Kegiatan Industri | 40.342,41 | 2.422,73 | 133,22 | 145,15 | 43.043,52 |
| Pertanian | 2.178,30 | 50.800,18 | 22.441,25 | NO | 75.419,73 |
| LUCF ¹ | 821.173,35 | 56,35 | 24,47 | NO | 821.254,17 |
| Sampah | 1.662,49 | 153.164,02 | 2.501,45 | NO | 157.327,96 |
| Total | 1.112.878,82 | 236.617,97 | 28.341,02 | 145,15 | 1.377.982,95 |

¹Catatan : Sudah termasuk emisi dari lahan gambut yang terbakar

Sumber : KLH, Indonesia : *Indonesia Second National Communication*, (2010)

Adanya gas rumah kaca dapat dijumpai di daerah perkotaan yang mana memungkinkan terjadinya perubahan penggunaan lahan dan alih fungsi lahan. Selain itu, gas rumah kaca yang merupakan jenis gas polutan dapat dikurangi jumlahnya dengan memanfaatkan fungsi ruang terbuka hijau (RTH) yang berada di daerah kota. Pembangunan di daerah perkotaan sekarang ini cenderung mengarah pada pengurangan keberadaan ruang terbuka hijau. Lahan-lahan yang tersedia justru banyak diubah fungsinya menjadi permukiman, pusat perdagangan dan pertokoan, tempat rekreasi, pusat industri dan lain sebagainya. Akibatnya yang terjadi adalah wilayah perkotaan yang mengalami kemajuan secara perekonomian akan tetapi mengalami kemunduran secara ekologi.

Kondisi tersebut akan berimbas pada tidak seimbangnya ekosistem wilayah perkotaan. Akibatnya ialah munculnya berbagai macam permasalahan lingkungan diantaranya ialah pencemaran udara seperti meningkatnya gas-gas rumah kaca di udara, terciptanya suasana yang gersang, timbulnya kebisingan serta meningkatnya suhu udara perkotaan. Menurut Sumarwoto (2002) dalam Siwi (2012) menjelaskan bahwa terdesaknya kawasan hijau alamiah yang berada di tengah perkembangan

kota yang pesat akan berdampak pada berubahnya unsur lingkungan yang biasa disebut dengan iklim mikro.

Pesatnya pertumbuhan ekonomi perkotaan umumnya juga disertai dengan semakin padatnya lalu lintas di bidang transportasi. Hal ini mendorong banyaknya mobilitas kendaraan yang melintas baik dari yang menuju dalam maupun luar kota. Terdapatnya aktivitas kendaraan yang padat secara bersamaan juga turut memproduksi emisi gas buang sehingga menambah buruk kondisi kualitas udara serta berdampak pada menurunnya kualitas lingkungan perkotaan dan juga rasa kenyamanan manusia yang tinggal di daerah tersebut.

Surakarta merupakan salah satu kota besar di Jawa Tengah yang sedang berkembang menuju kota yang lebih maju dan modern. Perkembangan kota tersebut menunjukkan tingginya pertumbuhan fisik kota dan juga fasilitas-fasilitas perkotaan yang terus dibangun. Di sisi lain, ketersediaan lahan yang ada menjadi semakin terbatas seiring dengan besarnya alih fungsi lahan yang terjadi, khususnya konversi dari lahan pertanian menjadi lahan non pertanian terutama untuk lahan permukiman serta perdagangan dan jasa.

Penggunaan lahan permukiman di Kota Surakarta selama kurun waktu lima tahun terakhir mulai dari tahun 2007 hingga tahun 2011 berdasarkan data Surakarta Dalam Angka 2011 mengalami peningkatan luas menjadi sebesar 124,77 ha.

Menurut Kepala Bidang Pengendalian Kerusakan Lingkungan Hidup (PKLH) Badan Lingkungan Hidup (BLH) Pemerintah Kota Surakarta menyebutkan bahwa luas RTH yang sebelumnya hanya mencapai 11,9%, tetapi setelah ada penambahan ruang dari bantaran sungai, yang kemudian dapat mencapai 12,2%. Sementara itu, menurut perundangan yang berlaku, kebutuhan ruang terbuka hijau harus mencakup 30% dari luas daerah yang ada (<http://www.antarajateng.com/>).

Karbon dioksida (CO₂) merupakan salah satu emisi gas buang yang berbahaya bagi manusia dan juga lingkungan. Keberadaan jumlah gas tersebut terutama di daerah kota tidak sedikit. Oleh karena itu, untuk menekan jumlah gas polutan tersebut yaitu dengan memanfaatkan fungsi dari ruang terbuka hijau secara optimal. Setiap jenis dari ruang terbuka hijau memiliki kemampuan menyerap

karbon dioksida yang berbeda-beda dan kemampuan daya serap karbon dioksida juga dapat diketahui dengan metode yang tidak sama.

Metode secara konvensional merupakan salah satu cara dalam mengukur cadangan karbon dan jumlah serapan karbon pada berbagai jenis tutupan lahan. Akan tetapi, pengukuran dengan cara tersebut akan menghabiskan biaya yang tidak sedikit, tenaga besar serta waktu yang cukup lama. Cara lain yang dapat digunakan untuk pengukuran kemampuan penyerapan karbon berdasarkan vegetasi yaitu dengan pendekatan dan estimasi melalui teknik penginderaan jauh yang lebih efisien dan efektif.

Data penginderaan jauh sampai sekarang ini telah banyak dimanfaatkan oleh berbagai pihak yang mana salah satunya dapat digunakan untuk memantau kondisi sumber daya alam di bumi. Pemanfaatan data tersebut sebelumnya telah dilakukan oleh (Rushayati, dkk, 2011) untuk pengembangan ruang terbuka hijau di Kota Bandung dengan estimasi melalui transformasi indeks vegetasi (*Normalized Difference Vegetation Index*) NDVI dan estimasi berdasarkan suhu permukaan dengan menggunakan Citra Landsat ETM +. Penelitian yang mengkaji tentang pengembangan ruang terbuka hijau di Kota Surakarta sendiri sebelumnya telah dilakukan oleh Ohira (2012) dengan menggunakan Citra ALOS AVNIR-2. Teknik analisis yang digunakan yaitu melalui klasifikasi multispektral dengan metode terbimbing yaitu *maximum likelihood* untuk mendapatkan luasan ruang terbuka hijau. Penelitian tersebut yang menjadi berbeda karena yang dihitung adalah kebutuhan gas selain karbon dioksida (CO_2) yaitu oksigen (O_2) melalui pendekatan metode Gerrarkis adalah untuk menghitung kebutuhan ruang terbuka hijau.

Citra ALOS AVNIR-2 merupakan salah satu produk dari data penginderaan jauh hasil dari perekaman satelit yang mana dapat diaplikasikan untuk memantau kondisi sumber daya alam. Berbekal dengan empat saluran dan kemampuan resolusi spasial sebesar 10 meter maka dapat menjadi salah satu alternatif pilihan. Alternatif tersebut ialah dengan memanfaatkan kemampuan citra tersebut dalam mendeteksi keberadaan biomassa hijau berdasarkan transformasi indeks vegetasi.

Biomassa merupakan bagian dari tumbuhan yang mana memiliki kemampuan untuk menyerap gas berbahaya khususnya karbon dioksida (CO_2).

Melalui konsep proses persamaan reaksi kimia fotosintesis pada vegetasi maka dapat diketahui kandungan biomassa untuk kemudian diperoleh kemampuan daya serap emisi karbon dioksida (CO_2) berdasarkan massa karbon dioksida (CO_2). Berdasarkan uraian yang telah disampaikan tersebut maka penulis mengambil penelitian dengan judul “Analisis Estimasi Kemampuan Daya Serap Emisi Karbon Dioksida (CO_2) Berdasarkan Biomassa Hijau Melalui Pemanfaatan Citra ALOS AVNIR-2, Kasus Di Kota Surakarta”.

1.2. Perumusan Masalah

Salah satu data penginderaan jauh yaitu Citra Landsat sampai dengan saat ini sudah sangat sering dipakai untuk memantau kondisi sumber daya alam di permukaan bumi sedangkan penggunaan citra dengan resolusi tinggi membutuhkan biaya yang relatif sangat mahal. Oleh karena itu, diperlukan alternatif jenis citra lainnya yang sepadan. Dalam penelitian ini, digunakan data penginderaan jauh selain Citra Landsat yaitu Citra ALOS AVNIR-2 dengan kemampuan resolusi spasial yang lebih baik dari Citra Landsat yaitu sebesar 10 meter sehingga dapat dijadikan salah satu pilihan dari berbagai data penginderaan jauh yang ada saat ini terlebih lagi data tersebut juga tergolong citra dengan resolusi spasial menengah.

Perhitungan detil biomassa hijau di lapangan tergolong sulit dilakukan karena membutuhkan peralatan yang sangat memadai selain biayanya mahal juga menghabiskan banyak waktu dan tenaga. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dilakukan dengan pendekatan estimasi melalui data penginderaan jauh resolusi sedang menggunakan transformasi spektral dan juga dengan pendekatan analisis statistik. Selain itu, perhitungan kemampuan daya serap emisi karbon dioksida secara langsung pada wilayah yang luas membutuhkan alat yang mahal dan survei lapangan yang berat sehingga dalam penelitian ini dipilih teknik lain yaitu dengan menggunakan konsep persamaan reaksi kimia fotosintesis untuk mengkonversi biomassa hijau yang kemudian akan diperoleh kemampuan daya serap emisi karbon dioksida (CO_2) berdasarkan keberadaan biomassa hijau pada ruang terbuka hijau yang mempunyai indeks kehijauan. Berdasarkan uraian perumusan masalah yang telah dipaparkan maka dapat disusun pertanyaan penelitian sebagai berikut :

1. Bagaimanakah penggunaan Citra ALOS AVNIR-2 untuk pemetaan indeks vegetasi berdasarkan transformasi indeks vegetasi ?
2. Bagaimana cara mengestimasi distribusi agihan biomassa hijau ?
3. Bagaimana cara mengestimasi kemampuan daya serap emisi karbon dioksida (CO_2) menggunakan biomassa hijau ?
4. Bagaimanakah keeratan hubungan antara biomassa hijau dan kemampuan daya serap emisi karbon dioksida (CO_2) ?

1.3. Tujuan Penelitian

1. Mengkaji kemampuan Citra ALOS AVNIR-2 untuk pemetaan indeks vegetasi menggunakan transformasi indeks vegetasi (*Normalized Difference Vegetation Index*) NDVI.
2. Mengestimasi distribusi agihan biomassa hijau berdasarkan perhitungan persamaan regresi linier antara nilai indeks vegetasi (*Normalized Difference Vegetation Index*) NDVI dan kandungan biomassa lapangan.
3. Mengestimasi kemampuan daya serap emisi karbon dioksida (CO_2) berdasarkan biomassa hijau melalui konversi nilai biomassa hijau menggunakan persamaan reaksi fotosintesis.
4. Menganalisis keeratan hubungan antara biomassa hijau dan kemampuan daya serap emisi karbon dioksida (CO_2).

1.4. Kegunaan Penelitian

1.4.1. Secara Ilmiah

1. Dapat menambah ilmu pengetahuan dan teknologi khususnya di bidang penginderaan jauh tentang metode estimasi kemampuan daya serap emisi karbon dioksida (CO_2) berdasarkan biomassa hijau melalui pendekatan analisis citra satelit.
2. Dapat menyajikan informasi tentang kemampuan daya serap emisi karbon dioksida (CO_2) berdasarkan biomassa pada ruang terbuka hijau yang terdapat di daerah perkotaan.

1.4.2. Secara Praktis

1. Sebagai masukan bagi pemerintah setempat untuk meningkatkan pengelolaan dan pengembangan ketersediaan ruang terbuka hijau yang berperan dalam penurunan emisi karbon dioksida (CO₂) khususnya di daerah perkotaan.
2. Sebagai bahan masukan bagi masyarakat mengenai pentingnya menjaga kelestarian lingkungan perkotaan terutama ruang terbuka hijau yang berfungsi untuk mengurangi dampak pencemaran lingkungan.

1.5. Telaah Pustaka dan Penelitian Sebelumnya

1.5.1. Telaah Pustaka

1.5.1.1. Teknologi Penginderaan Jauh

Lillesand *et al.* (2004) mendefinisikan bahwa penginderaan jauh merupakan suatu ilmu pengetahuan, seni, dan teknologi untuk memperoleh informasi mengenai suatu obyek, wilayah, atau fenomena tertentu yang ada di permukaan bumi dengan menggunakan alat tertentu dengan tidak melakukan kontak langsung dengan obyek yang sedang dikaji.

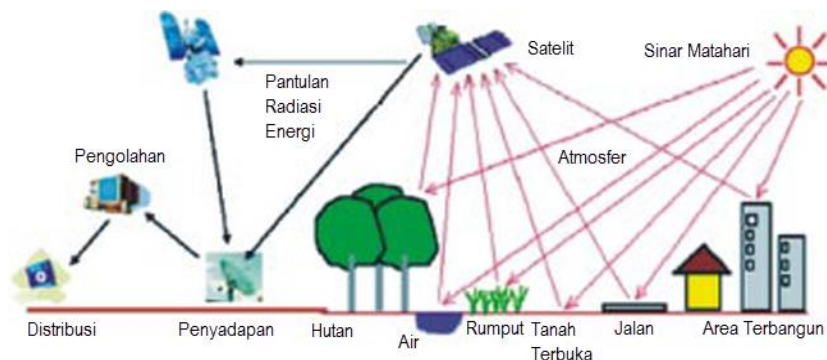
Alat yang dimaksud dalam hal ini adalah sensor. Data yang diambil dan dikumpulkan dari jarak jauh melalui bantuan dari berbagai sensor penginderaan jauh yang selanjutnya diolah dan dianalisis sehingga nantinya dapat diperoleh informasi tentang obyek, wilayah atau fenomena yang diteliti. Wahana yang digunakan dalam penginderaan jauh berupa pesawat udara atau satelit. Sensor penginderaan jauh merekam data tentang kenampakan di muka bumi melalui energi elektromagnetik yang dipancarkan dan dipantulkan oleh obyek (Jensen, 1986).

Tenaga utama yang digunakan dalam penginderaan jauh adalah energi elektromagnetik, yaitu paket elektrisitas dan magnetisme yang bergerak dengan kecepatan sinar pada frekuensi dan panjang gelombang tertentu, dengan sejumlah energi tertentu. Matahari merupakan sumber utama energi elektromagnetik, di samping sumber energi lain baik berupa sumber energi alamiah maupun sumber energi buatan. Sumber energi alamiah yang digunakan dalam penginderaan jauh adalah sistem pasif, sedangkan sumber energi buatan yang digunakan dalam penginderaan jauh adalah sistem aktif (Sutanto, 1992).

Data penginderaan jauh memerlukan data-data pendukung seperti peta tematik, data statistik, dan data lapangan untuk proses analisisnya. Pada sistem ini baik sistem pasif maupun aktif, energi merupakan komponen pendukung utamanya. Energi itu sendiri dapat berupa energi yang alami (energi matahari), maupun energi yang bersifat buatan (energi yang dipancarkan dalam RADAR). Sumber energi yang berasal dari energi matahari sering disebut juga dengan energi elektromagnetik, yang dibagi lagi menjadi spektra kosmis, Gamma, X, ultraviolet, *visible* (tampak), inframerah, gelombang mikro, dan gelombang radio (Purwadhi 2001).

Kenampakan di muka bumi yang dikaji dapat diidentifikasi, dipetakan, dan dipelajari yaitu berdasarkan karakteristik spektralnya. Beberapa kenampakan tidak dapat dipisahkan secara spektral. Jadi untuk memanfaatkan data penginderaan jauh secara efektif, seseorang harus mengetahui dan memahami karakteristik spektral obyek yang dikaji pada terapan tertentu. Begitu pula perlu diketahui faktor apakah yang mempengaruhi karakteristik tersebut (Lillesand, 1979).

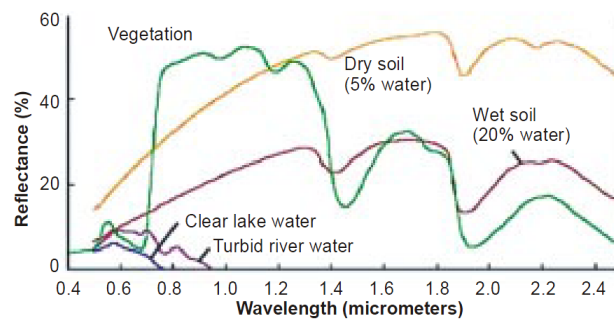
Aggarwal (2003) menyebutkan bahwa deteksi dan diskriminasi obyek atau fitur permukaan berarti mendeteksi dan merekam pancaran energi yang dipantulkan atau dipancarkan oleh benda atau permukaan bahan. Obyek-obyek yang berbeda tersebut memantulkan kembali berupa jumlah energi yang tidak sama ke dalam berbagai *band* spektrum elektromagnetik, berlangsungnya proses pantulan dan pancaran tersebut berada di atas permukaan obyek. Hal ini juga tergantung pada material (struktural, kimia, dan fisika), kekasaran permukaan, pengaruh sudut penyinaran, intensitas penyinaran, dan panjang gelombang energi radiasi. Gambar 1.1. menunjukkan elemen-elemen yang ada pada penginderaan jauh.



Gambar 1.1. Elemen-elemen Penginderaan Jauh

([http:// www.wamis.org/agm/pubs/agm8/Paper-2.pdf](http://www.wamis.org/agm/pubs/agm8/Paper-2.pdf))

Gambar 1.2. merupakan suatu kurva pantulan spektral bagi tiga obyek utama di bumi, yakni vegetasi sehat berdaun hijau, tanah, dan air. Garis pada kurva tersebut menyajikan kurva pantulan rata-rata yang dibuat dengan pengukuran sampel obyek dengan jumlah yang banyak. Konfigurasi kurva tersebut merupakan suatu indikator tentang jenis dan kondisi obyek yang berkaitan. Walaupun pantulan obyek secara individual akan berbeda besar di atas dan di bawah nilai rata-rata, tetapi kurva tersebut menunjukkan beberapa titik fundamental yang berkaitan dengan pantulan spektral (Lillisand, 1979 dalam Pramonosidi, 2009).



Gambar 1.2. Kurva Pantulan Spektral

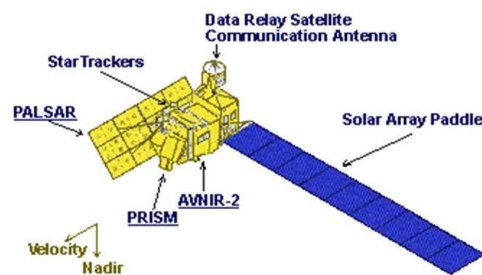
(<http://www.wamis.org/agm/pubs/agm8/Paper-2.pdf>)

1.5.1.2. Sistem Satelit ALOS

ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*) merupakan sistem satelit sumber daya milik Jepang, yang diluncurkan oleh Badan Eksplorasi Udara dan Ruang Angkasa Jepang (*Japan Aerospace Exploration Agency*) atau JAXA. ALOS merupakan satelit yang didesain untuk beroperasi dalam jangka waktu 3-5 tahun yang mana telah diluncurkan sejak 26 Januari 2006 (RESTEC, 2010 dalam Danoedoro, 2012). Sistem ALOS terbagi ke dalam tiga modul sensor diantaranya ialah PRISM (*Panchromatic Remote Sensing Instrument for Stereo Mapping*) dengan resolusi spasial 2,5 meter ; AVNIR-2 (*Advanced Visible and Near InfraRed Type-2*) beresolusi spasial 10 meter; dan PALSAR (*Phased Array Type-L Synthetic Aperture Radar*) dengan resolusi spasial berkisar antara 10-100 meter (Danoedoro, 2012).

ALOS adalah salah satu satelit pengamatan bumi terbesar yang pernah dikembangkan. Beberapa tujuan dari dikembangkannya satelit tersebut adalah untuk melakukan pengamatan wilayah yang berdasarkan pembangunan berkelanjutan, harmonisasi antara lingkungan dan pembangunan, untuk pemantauan bencana di seluruh dunia, untuk keperluan survei sumber daya alam dan untuk mengembangkan teknologi yang diperlukan untuk pengamatan bumi di masa depan.

Instrumen pada Satelit ALOS mempunyai letak yang berbeda satu dengan yang lainnya. Oleh karena itu, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 1.3. dan Gambar 1.4. Sedangkan untuk informasi tentang spesifikasi citra satelit ALOS dapat dilihat pada Tabel 1.2.



Gambar 1.3. Sensor Satelit ALOS

(<http://www.wamis.org/agm/pubs/agm8/Paper-2.pdf>)

Tabel 1.2. Spesifikasi Utama Satelit ALOS

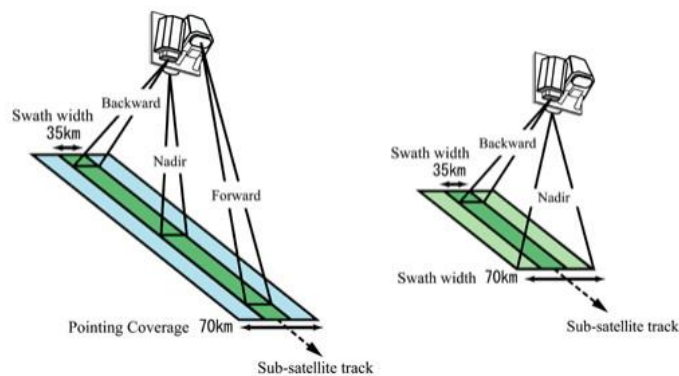
| Parameter | Spesifikasi |
|-------------------------|---|
| Kendaraan peluncur | H-IIA |
| Waktu peluncuran | 24 Januari 2006 |
| Lokasi peluncuran | Tanegashima Space Center, Yoshinobu , Jepang |
| Tipe orbit | Sinkron matahari, subrecurrent |
| Waktu lintas (lokal) | 10:30 pagi \pm 15 menit |
| Ketinggian | 691.65km di atas ekuator |
| Inklinasi | 98,16 derajat |
| Periode orbit | 98,7 menit |
| Perputaran per hari | 14+27/46 putaran./hari |
| Waktu pengulangan | 46 hari |
| Pengulangan garis bujur | +/-2,5km (di atas ekuator) |
| Sistem Pengamatan bumi | Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping (PRISM) Advanced Visible and Near Infrared Radiometer type 2 (AVNIR-2) Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar (PALSAR) |

Sumber : ALOS data users handbook

ALOS membawa tiga buah perangkat instrumen yang digunakan untuk mengamati bumi, yaitu : ***Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping (PRISM)***

The Panchromatic Remote Sensing Instrument for Stereo Mapping atau yang lebih dikenal dengan PRISM adalah bagian dari Satelit ALOS yang dapat menghasilkan gambar citra dalam mode pankromatik atau dalam bentuk tampilan hitam putih. Data yang diturunkan dari PRISM akan menghasilkan model permukaan digital atau DSM dengan akurasi yang tinggi.

PRISM mempunyai tiga sistem optik yang independen untuk pengamatan pada posisi nadir, posisi depan dan posisi belakang dimana dapat menghasilkan sebuah pasangan citra secara stereoskopis dalam proses berlangsungnya perekaman satelit. Selain itu, untuk setiap teleskop terdiri dari tiga cermin dan beberapa detector CCD untuk proses scan sapuan. Teleskop yang melakukan pengamatan pada posisi nadir dapat menjangkau dengan panjang sejauh 70 km, sementara untuk pengamatan pada posisi depan dan posisi belakang pada teleskop dapat menjangkau sejauh 35 km. Teleskop yang terpasang di samping bangku optis dilengkapi dengan pengendali temperatur dengan presisi yang baik. Posisi depan dan belakang pada teleskop mempunyai sudut inklinasi +24 dan -24 derajat dari posisi nadir sampai mencapai pada perbandingan posisi ketinggian dengan nilai 1. Lebar Field of View atau FOV pada PRISM dapat menghasilkan tiga pasangan citra yang stereo dengan lebar liputan sejauh 35 km tanpa mesin *scanning* atau penyimpangan kendali satelit.



Gambar 1.4. Sensor PRISM pada Satelit ALOS
(<http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/about/avnir2.htm>)

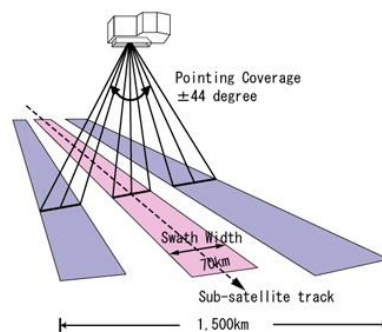
Tabel 1.3. Karakteristik Utama Sensor PRISM

| Spesifikasi | Depan | Nadir | Belakang | Keterangan |
|-------------------------|--|--------------------|----------|---|
| Panjang gelombang | 0,52 sampai 0,77 μm | | | |
| IFOV | 3,61 μrad | | | |
| FOV | 5,8 derajat | – | | Lebar liputan 70 km |
| | 2,9 derajat | 2,63 derajat | | Lebar liputan 35 km |
| Scan Cycle | 0,37 ms | | | |
| Sudut pandang | $\pm 1,5$ derajat | $\pm 1,36$ derajat | | Untuk tiga pengamatan |
| MTF | > 0.2 | | | Termasuk penurunan MTF sepanjang jalur dari penerbangan kendaraan angkasa |
| S/N | > 70 | | | |
| Seting gain | 4 langkah | | | |
| Kuantisasi (bit) | 8 | | | Resolusi radiometrik |
| Kecepatan transfer data | < 960 Mb per detik (320 Mb per detik/teleskop) | | | Sebelum kompresi |
| Sudut dari posisi nadir | $\pm 23,8$ derajat (untuk depan dan belakang) | | | Along track |

Sumber : ALOS data users handbook

Advanced Visible and Near Infrared Radiometer type 2 (AVNIR-2)

AVNIR-2 adalah seperangkat instrumen yang dibawa oleh Satelit ALOS dimana merupakan pengembangan dan penerus dari generasi AVNIR yang pertama yang terpasang pada ADEOS yang diluncurkan bulan Agustus 1996. Pada instrumen AVNIR-2 mempunyai kemampuan resolusi spasial yang lebih tinggi dari generasi sebelumnya yang mulanya 16 meter dan kemudian ditingkatkan menjadi sebesar 10 meter. Dengan demikian, maka keunggulan dari AVNIR-2 tergolong sangat baik dalam penyediaan informasi spasial yang meliputi penutupan lahan dan klasifikasi penggunaan lahan untuk pemantauan kawasan lingkungan.



Gambar 1.5. Sensor AVNIR-2 pada ALOS

(<http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/about/avnir2.htm>)

Tabel 1.4. Karakteristik Utama Sensor AVNIR-2

| Parameter | Spesifikasi | Keterangan |
|----------------------------------|--|--------------------------|
| Panjang gelombang | Saluran 1: 0,42 – 0,50 μm Saluran 2: 0,52 – 0,60 μm Saluran 3: 0,61 – 0,69 μm Saluran 4: 0,76 – 0,89 μm | |
| Resolusi spasial (IFOV) | 10 m (Sekitar 14.28 μrad) | |
| Karakteristik frekuensi spasial | Saluran 1-3: 0,25, saluran 4: 0,20 | |
| Lebar liputan | > 70 km (Sekitar 5,8 derajat) | |
| Jumlah detektor | 7100 / band | |
| Siklus scan | 1.48 milli detik | |
| MTF | Band 1 – 3 : > 0,25 Band 4 : > 0,20 (Pada frekuensi nyquist) | |
| Gain | 4 langkah | |
| S/N | > 200 | <i>Settable per band</i> |
| Akurasi registrasi diantara band | Akurasi seting sekitar $\pm 8 \mu\text{m}$ Elemen variasi sekitar $\pm 4 \mu\text{m}$ (pada orbit) | |
| Sudut pandang | ± 44 derajat | |
| Sudut langkah seting | 0,01875 derajat/pulse | <i>At light axis</i> |
| Akurasi seting sudut pandang | Sampai 0,05 derajat | |
| Akurasi pembacaan sudut pandang | Sampai 0,05 derajat | |
| Unit pengkodean | 0,044 derajat (<i>light axis</i>) | |
| Kuantisasi (bit) | 8 bit / piksel | |
| Laju transmisi data | 160 Mb per detik (40 Mb per detik/band) | Sebelum Kompresi |

Sumber : ALOS data users handbook

Tabel 1.5. Level Produk Data Citra ALOS AVNIR-2

| Level | Definisi | Pilihan | Keterangan |
|-------|---|---------|---------------------------------|
| 1A | Berbentuk data tidak terkompresi, perhitungan rekonstruksi digital dicatat disertai dengan informasi koefisien kalibrasi radiometrik dan koefisien kalibrasi geometrik (dicatat tapi belum diaplikasikan) | | File terpisah untuk setiap band |
| 1B1 | Telah berupa data yang terkalibrasi secara radiometrik pada sensor input | | File terpisah untuk setiap band |

| Level | Definisi | Pilihan | Keterangan |
|-------|--|---|---------------------------------|
| 1B2 | Jenis koreksi geometrik data citra : <i>G : Systematically Geo-coded</i> <i>R : Systematically Geo-referenced</i> <i>D : Correction with coarse DEM</i> (hanya area Jepang) Pilihan G atau R merupakan alternatif | Proyeksi Peta Resampling Jarak Piksel | File terpisah untuk setiap band |

Sumber: *ALOS Data Users Handbook*

Tabel 1.6. Produk Data AVNIR-2

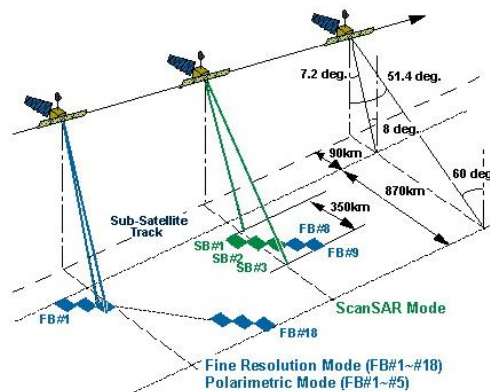
| Level | Spesifikasi Citra | Jumlah File/Isi | Unit | Ukuran |
|----------|---------------------------------------|-----------------|---------------|---|
| 1A | RSP (Path, frame) + Shift (Frame No.) | 8/B1 to B4 | Geo-reference | 1*7100*8000*4 = 217M |
| 1B1 | | 8/B1 to B4 | Geo-reference | 1*7100*8000*4 = 217M |
| 1B2R (D) | | 7/B1 to B4 | Geo-reference | 1*7100*7000*4 = 190M (Standard) max.: about 450M Pixel spacing 10-15-20m: max 1*8876*7000*4 = 273M Pixel spacing 10m (Fixed): max 1*16679*7000*4 = 445.4M |
| 1B2G (D) | | 7/B1 to B4 | Geo-coded | Variable Twice as large as Geo-reference at the maximum = 891M |

Sumber: *ALOS Data Users Handbook*

Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar (PALSAR)

PALSAR merupakan sensor gelombang mikro aktif yang menggunakan frekuensi *L-band* untuk mencapai bebas awan dan observasi lahan pada waktu siang dan malam. Sensor tersebut memberikan kinerja yang lebih tinggi dari JERS-1 *Synthetic Aperture Radar* (SAR). Resolusi yang sangat baik dalam mode konvensional.

Selain itu, PALSAR memiliki modus pengamatan yang menguntungkan lainnya. Sebagai contoh adalah ScanSAR yang mana akan memungkinkan bagi pengguna untuk memperoleh 250 sampai 350 km lebar gambar SAR yang juga tergantung pada jumlah scan dengan mengorbankan terkait resolusi spasial yang telah dimiliki. Petak tersebut tiga sampai lima kali lebih lebar dari gambar SAR konvensional. Perkembangan PALSAR merupakan proyek bersama antara JAXA dan JAROS sehingga untuk pemanfaatan citra tersebut akan sangat membantu baik untuk para peneliti dalam menggali semua informasi yang terdapat di permukaan bumi terkait dengan gejala atau fenomena alam yang terjadi.



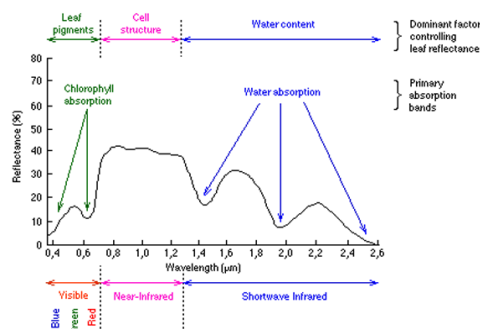
Gambar 1.6. Konsep Pengamatan ALOS PALSAR

(<http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/about/avnir2.htm>)

1.5.1.3. Karakteristik Spektral Vegetasi

Setiap obyek di permukaan bumi mempunyai karakteristik tertentu dalam memantulkan dan atau memancarkan tenaga ke sensor. Pengenalan obyek pada dasarnya dilakukan dengan melihat karakteristik spektral pada citra. Secara umum, karakteristik spektral obyek dirinci menurut obyek utama di permukaan bumi yaitu karakteristik spektral air, tanah, dan vegetasi.

Berdasarkan ketiga obyek tersebut, obyek vegetasi mempunyai variasi spektral dibandingkan kedua obyek yang lain. Obyek vegetasi memiliki nilai pantulan yang tinggi pada spektrum hijau, rendah pada spektrum biru dan merah, serta sangat tinggi pada spektrum inframerah (Raharjo, 2010). Karakteristik respon pantulan spektral vegetasi tertuang dalam bentuk grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.8.



Gambar 1.7. Karakteristik Respon Pantulan Spektral Vegetasi

(http://www.cis.rit.edu/class/simg553_01/vegFig3.gif)

1.5.1.4. Penginderaan Jauh untuk Vegetasi

Vegetasi merupakan salah satu obyek di permukaan bumi yang dapat diamati melalui penginderaan jauh. Di samping tanah dan air, obyek vegetasi juga mempunyai pantulan spektral yang khas yang dapat diidentifikasi pada julat panjang gelombang tampak sehingga kenampakkan obyek vegetasi dapat diidentifikasi kondisinya dan persebarannya melalui data citra yang direkam dari satelit penginderaan jauh.

Menurut Pramonosidi (2009) menyatakan bahwa pada kurva pantulan spektral antara obyek vegetasi, tanah, dan air; vegetasi mempunyai pantulan spektral yang kuat pada panjang gelombang $0,7\ \mu\text{m} - 1,3\ \mu\text{m}$ (spektrum inframerah dekat). Pada panjang gelombang $0,45\ \mu\text{m} - 0,67\ \mu\text{m}$ (spektrum biru dan merah) akan terjadi penyerapan energi secara kuat oleh klorofil daun, sehingga akibatnya mata manusia akan melihat warna vegetasi tampak hijau. Pantulan yang kuat pada spektrum inframerah dekat disebabkan karena struktur internal daun (yang dapat dimanfaatkan untuk mengidentifikasi jenis tumbuhan).

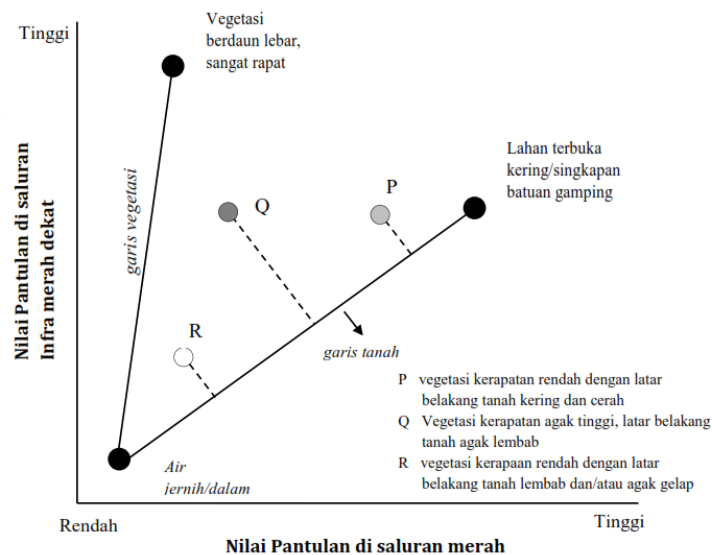
1.5.1.5. Transformasi Indeks Vegetasi

Suatu bentuk transformasi spektral yang diaplikasikan ke dalam citra multisaluran untuk menonjolkan kerapatan vegetasi maupun aspek lain yang berkaitan dengan kerapatan dinamakan dengan indeks vegetasi. Sebagai contoh bahwa yang bisa berkaitan dengan kerapatan diantaranya ialah biomassa, *Leaf Area Index* (LAI), konsentrasi klorofil, dan lain-lain. Sederhananya, indeks vegetasi tersebut merupakan suatu bentuk transformasi matematis yang melibatkan beberapa saluran sekaligus yang mana menghasilkan citra baru yang lebih representatif dalam menyajikan gejala perubahan pada vegetasi (Danoedoro, 2012).

Menurut Ray (1995) dalam Danoedoro (2012) menjelaskan bahwa terdapat dua jenis asumsi dasar dalam penggunaan dan pengembangan indeks vegetasi. Asumsi pertama ialah bahwa beberapa kombinasi aljabar dari saluran-saluran spektral dapat memberikan informasi tertentu terkait dengan vegetasi. Memang secara empiris ada beberapa bukti tentang hal ini. Asumsi kedua ialah menyatakan bahwa semua tanah terbuka (gundul) pada suatu citra akan membentuk garis

imajiner yang disebut dengan garis tanah, apabila piksel-pikselnya diplot pada *feature space*. Garis ini kemudian diasumsikan sebagai garis yang mewakili piksel tanpa vegetasi.

Menurut Danoedoro (2012) menyebutkan bahwa indeks vegetasi pada mulanya dikembangkan terutama berdasarkan *feature space* tiga saluran : hijau, merah dan inframerah dekat. Ketiga saluran ini cukup representatif dalam menyajikan fenomena vegetasi, sebelum saluran inframerah tengah digunakan secara luas. Meskipun demikian, pola spektral vegetasi pada saluran merah dan inframerah dekat lebih diperhatikan karena sangat berlawanan. Bila diperhatikan, tampak bahwa *feature space* yang dibentuk oleh saluran inframerah dengan saluran merah menghasilkan sebaran yang lebih lebar. Terlihat pula piksel-piksel vegetasi ternyata mengelompok pada sudut kiri atas, lalu piksel-piksel tanah kering berona cerah pada kanan atas, dan piksel-piksel tanah basah berona sangat gelap berdekatan dengan titik asal. Untuk lebih jelasnya mengenai garis vegetasi dan garis tanah yang dibentuk oleh *feature space* dapat dilihat pada Gambar 1.9.



Gambar 1.8. Garis Vegetasi dan Garis Tanah

(Richardson dan Wiegand, 1977 dalam Danoedoro, 2012)

Vegetasi sangat rapat dengan struktur daun atau percabangan yang berbeda, bila diplot, ternyata menempati garis imajiner antara tanah gelap-vegetasi. Di sisi lain, garis imajiner antara tanah gelap-tanah cerah ternyata ditempati oleh piksel-

piksel tanah dengan rona dan kelembaban berbeda. Garis inilah yang disebut dengan garis tanah (Richardson dan Wiegand, 1977 dalam Danoedoro, 2012).

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) merupakan kombinasi antara teknik penisbahan dengan teknik pengurangan citra. Transformasi NDVI ini merupakan salah satu produk standar NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*), satelit cuaca yang berorbit polar namun memberikan perhatian khusus pada fenomena global vegetasi dan cuaca (Danoedoro, 2012). Rumus untuk menghitung NDVI ialah dengan melibatkan panjang gelombang inframerah dekat dengan panjang gelombang merah. Nilai hasil transformasi NDVI umumnya berkisar -1 hingga 1. Formula untuk menghitung NDVI menurut Tucker (1979) dalam Danoedoro (2012) dapat dipakai dengan menggunakan persamaan berikut :

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$$

Keterangan : 1. NIR : Band Inframerah Dekat

2. Red : Band Merah

1.5.1.6. Pengolahan Citra Digital

1. Koreksi Radiometrik

Menurut Danoedoro (2012) menjelaskan bahwa koreksi radiometrik diperlukan atas dasar dua alasan yaitu, untuk memperbaiki kualitas visual citra dan sekaligus memperbaiki nilai-nilai piksel yang tidak sesuai dengan nilai pantulan atau pancaran spektral obyek yang sebenarnya. Selain itu, menurut Purwadhi (2001) koreksi radiometrik merupakan proses perbaikan yang disebabkan oleh adanya kecacatan atau kesalahan radiometrik yang diantaranya ialah seperti kesalahan yang terletak pada sistem optik, kesalahan yang disebabkan oleh gangguan energi radiasi elektromagnetik dan kesalahan karena pengaruh sudut elevasi matahari. Secara garis besar, koreksi radiometrik meliputi dua kelompok besar metode yaitu (a) koreksi yang bertumpu pada informasi dari citra itu sendiri, dan (b) koreksi yang mempertimbangkan faktor-faktor luar yang berpengaruh terhadap kesalahan informasi yang ada pada citra.

2. Koreksi Geometrik

Koreksi geometrik dilakukan dengan transformasi, yang dapat ditetapkan melalui hubungan sistem koordinat citra (x,y) dan sistem koordinat geografi (X,Y) (Purwadhi, 2001). Konsep transformasi geometrik yang paling mendasar adalah menempatkan kembali posisi piksel sedemikian rupa, sehingga pada citra digital yang tertransformasi dapat terlihat gambaran obyek di permukaan bumi yang terekam oleh sensor (Danoedoro, 1996).

Proses transformasi citra merupakan suatu langkah yang ditempuh dalam pra pengolahan citra digital. Mather (2004) dalam Danoedoro (2012) menjelaskan bahwa berbagai macam koreksi citra dapat dikategorikan ke dalam dua hal besar yaitu model geometri orbital dan transformasi berdasarkan titik-titik kontrol lapangan (*ground control point*, GCP).

3. Penajaman Citra

Penajaman citra bertujuan untuk meningkatkan mutu citra, baik untuk memperoleh keindahan gambar maupun untuk kepentingan analisis citra. Operasi penajaman dimaksudkan untuk mempertajam kontras yang tampak pada ujud gambaran yang terekam pada citra. Penajaman secara sederhana dapat diartikan mentransformasikan data ke bentuk yang lebih ekspresif (Purwadhi, 2001).

Secara umum teknik penajaman di dalam aplikasinya dapat dikategorikan dalam tiga cara, yaitu manipulasi kontras (*contrast manipulation*), manipulasi kenampakan spasial (*spatial feature manipulation*), dan manipulasi multi-citra (*multi-image manipulation*).

4. Pemfilteran Spasial

Pemfilteran spasial sebenarnya merupakan kelompok operasi tersendiri dan bukan hanya penajaman. Swain dan Davis (1978) dalam Danoedoro (2012) memberikan batasan filter sebagai mekanisme yang dapat mengubah sinyal-sinyal optis, elektronis ataupun digital, sesuai dengan kriteria tertentu. Selebihnya, keduanya menyatakan bahwa pemfilteran merupakan suatu cara untuk ekstraksi

bagian data tertentu dari suatu himpunan data, dengan menghapus bagian-bagian data yang tidak diinginkan (Danoedoro, 2012).

1.5.1.7. Sistem Informasi Geografis

Sistem Informasi Geografis (SIG) merupakan suatu sistem berbasis teknologi komputer yang mana fungsinya untuk melakukan proses penyimpanan dan proses manipulasi beberapa informasi geografis (Aronoff, 1989) dalam (Prahasta, 2001).

Aronoff (1989) dalam Prahasta (2001) mendefinisikan secara garis besar bahwa pada hakekatnya SIG dibagi ke dalam empat subsistem yang saling terkait, yaitu masukan (*input*), pengolahan atau manajemen data, manipulasi dan analisis, serta keluaran data (*output*).

Masukan (*input*) data dalam SIG merupakan data awal yang dapat berupa data mentah atau data hasil olahan yang mana dapat berasal dari berbagai bentuk atau tipe data yang diantaranya ialah data grafis atau data spasial dan juga dapat berupa data atribut atau data tabular. Istilah beberapa kumpulan data tersebut sering dikenal dengan nama basis data (*database*).

Pengolahan dan manajemen data dalam SIG dapat meliputi semua operasi mulai dari penyimpanan, pengaktifan, penyimpanan kembali dan sekaligus pencetakan semua data yang berasal dari masukan data.

Manipulasi dan analisis data merupakan bagian dari subsisten yang mana menjadi salah satu kemampuan yang utama dalam SIG untuk menghasilkan suatu informasi baru sesuai dengan hasil yang ingin dicapai.

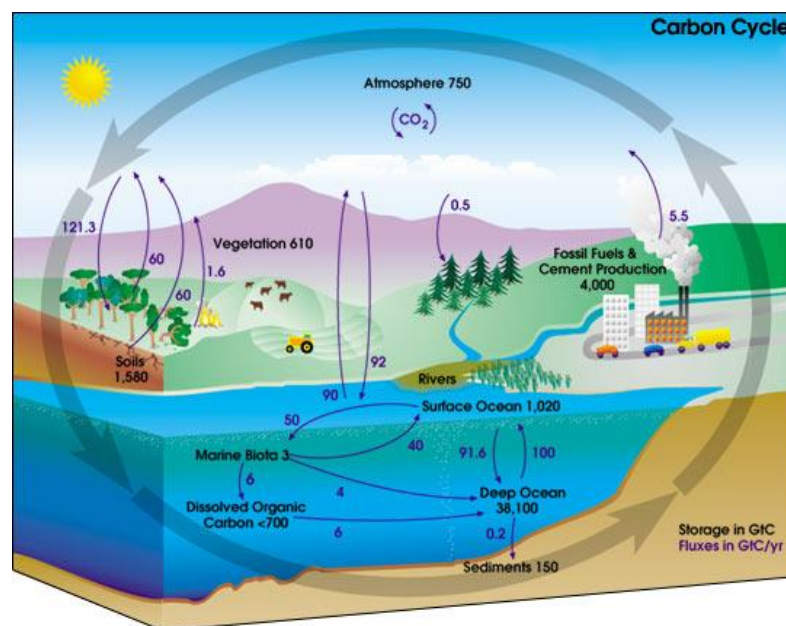
Keluaran data (*output*) dalam SIG pada umumnya dihasilkan tiga macam bentuk keluaran yaitu cetakan yang berupa peta maupun tabel atau grafik yang dicetak di atas media kertas, film, atau media lainnya. Dengan menggunakan sistem ini maka penanganan data geografis akan menjadi lebih mudah dan efisien, hal ini dikarenakan kemampuan sistem untuk kompilasi, penyiaman, pembaharuan dan perubahan, manipulasi, analisis dan kombinasi serta penyajian secara kartografis.

1.5.1.8. Konsep Siklus Karbon

Siklus karbon merupakan siklus biogeokimia yang mana karbon dipertukarkan antara atmosfer bumi, geosfer, hidrosfer, dan biosfer. Karbon dioksida (CO_2) merupakan salah satu bagian dari karbon dalam jumlah besar yang terdapat di atmosfer bumi. Jika dibandingkan dengan gas-gas lain yang terdapat di atmosfer, memang sangat sedikit sekali jumlah karbon dioksida tersebut.

Mengingat bahwa jumlah gas tersebut merupakan bagian yang sangat kecil dari seluruh gas yang ada di atmosfer (hanya sekitar 0,04% dalam basis molar, walaupun sedang mengalami kenaikan), namun demikian ada peran yang besar gas tersebut dalam menopang kehidupan.

Diketahui pula bahwa terdapat jenis gas lain yaitu kloroflorokarbon atau CFC dan metan yang mana juga mengandung karbon yang terdapat di atmosfer. Di samping itu, CFC sendiri termasuk ke dalam jenis gas artifisial atau buatan. Hal tersebut berarti bahwa gas-gas tersebut termasuk bagian dari gas rumah kaca dimana konsentrasinya pada saat sampai di atmosfer menjadi meningkat dalam kurun waktu dekade terakhir, dan turut andil pula dalam mendukung terbentuknya pemanasan secara global (http://id.wikipedia.org/wiki/Siklus_karbon).



Gambar 1.9. Diagram Siklus Karbon
(http://id.wikipedia.org/wiki/Siklus_karbon)

1.5.1.9. Karbon Dioksida (CO₂)

Karbon Dioksida (CO₂) merupakan satu dari enam GRK yang utama dan dijadikan referensi GRK yang lain dalam menentukan Indek GWP, sehingga GWP-nya = 1. GRK ini banyak dihasilkan dari pembakaran BBF, biomassa dan alih guna lahan (Meviana,dkk, 2004).

Rata-rata konsentrasi karbon dioksida di atmosfer bumi kira-kira 387 ppm berdasarkan volum, meskipun jumlah tersebut dapat bervariasi tergantung pada lokasi dan waktu tertentu. Karbon dioksida merupakan gas rumah kaca yang penting karena gas tersebut dapat menyerap gelombang inframerah dengan kuat (http://id.wikipedia.org/wiki/Karbon_dioksida).

Karbon dioksida dihasilkan oleh semua hewan, tumbuh-tumbuhan, fungi, dan mikroorganisme pada proses respirasi dan digunakan oleh tumbuhan pada proses fotosintesis. Dengan demikian, karbon dioksida di atmosfer mempunyai peranan yang penting dalam berlangsungnya siklus karbon. Selain itu, adanya karbon dioksida juga dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil, karbon dioksida anorganik dihasilkan dari aktivitas gunung berapi dan juga proses geotermal yang lain sebagai contoh ialah munculnya mata air panas (http://id.wikipedia.org/wiki/Karbon_dioksida).

Karbon dioksida adalah hasil akhir dari organisme yang mendapatkan energi dari penguraian gula, lemak, dan asam amino dengan oksigen sebagai bagian dari metabolisme dalam proses yang dikenal sebagai respirasi sel. Pada tumbuh-tumbuhan, karbon dioksida diserap dari atmosfer sewaktu fotosintesis. Tumbuh-tumbuhan mengurangi kadar karbon dioksida di atmosfer dengan melakukan fotosintesis, disebut juga sebagai asimilasi karbon, yang menggunakan energi cahaya untuk memproduksi materi organik dengan mengkombinasi karbon dioksida dengan air. Oksigen bebas dilepaskan sebagai gas dari penguraian molekul air, sedangkan hidrogen dipisahkan menjadi proton dan elektron, dan digunakan untuk menghasilkan energi kimia via fotofosforilasi. Energi ini diperlukan untuk fiksasi karbon dioksida pada siklus Calvin untuk membentuk gula. Gula ini kemudian digunakan untuk pertumbuhan tumbuhan melalui respirasi (http://id.wikipedia.org/wiki/Karbon_dioksida).

1.5.1.10. Ruang Terbuka Hijau

Menurut Undang-Undang Republik Indonesia No. 26 Tahun 2007 Tentang Penataan Ruang, Ruang terbuka hijau merupakan area memanjang/jalur dan/atau mengelompok, yang penggunaannya lebih bersifat terbuka, tempat tumbuh tanaman, baik yang tumbuh secara alamiah maupun yang sengaja ditanam.

Berdasarkan Undang-Undang Nomor 26 tentang Penataan Ruang Tahun 2007, ruang terbuka hijau terdiri dari ruang terbuka hijau publik dan ruang terbuka hijau privat. Proporsi ruang terbuka hijau pada wilayah kota paling sedikit 30 % dari luas wilayah kota. Proporsi ruang terbuka hijau publik pada wilayah kota paling sedikit 20 % dari luas wilayah kota sedangkan proporsi untuk ruang terbuka hijau privat yaitu sebesar 10 %. Perbedaan ruang terbuka hijau publik dan ruang terbuka hijau privat di lapangan yaitu dengan melihat lokasi tempat dimana ruang terbuka hijau tersebut berada. Ruang terbuka hijau publik di lapangan terdapat di atas lahan milik pemerintah yang digunakan bagi masyarakat secara umum sesuai dengan peruntukannya. Ruang terbuka hijau yang termasuk dalam kategori RTH publik diantaranya ialah taman kota, tempat pemakaman, RTH sempadan rel kereta api dan RTH sempadan sungai. Ruang terbuka hijau privat di lapangan dapat diketahui dengan keberadaannya yang lokasinya berada di permukiman penduduk atau berada di tempat lain yang dari segi kepemilikan lahannya bukan milik pemerintah tetapi milik penduduk bisa perseorangan maupun swasta. Ruang terbuka hijau yang termasuk dalam kategori RTH privat diantaranya ialah taman atap bangunan dan pekarangan rumah tinggal. Selengkapnya jenis-jenis RTH publik dan RTH privat dari segi kepemilikannya dapat dilihat pada Tabel 1.7.

Tabel 1.7. Jenis RTH Berdasarkan Kepemilikannya

| No | Jenis | RTH Publik | RTH Privat |
|----|---|------------|------------|
| 1 | RTH Pekarangan | | |
| | 1. Pekarangan rumah tinggal | | V |
| | 2. Halaman perkantoran, pertokoan, dan tempat usaha | | V |
| | 3. Taman atap bangunan | | V |
| 2 | RTH Taman dan Hutan Kota | | |
| | 1. Taman RT dan Taman RW | V | V |
| | 2. Taman kelurahan dan Taman kecamatan | V | V |
| | 3. Taman kota | V | |

| No | Jenis | RTH Publik | RTH Privat |
|----|---|------------|------------|
| 2 | 4. Hutan kota | V | |
| | 5. Sabuk hijau | V | |
| 3 | RTH Jalur Hijau Jalan | | |
| | 1. Pulau jalan dan media jalan | V | V |
| | 2. Jalur pejalan kaki | V | V |
| | 3. Ruang dibawah jalan layang | V | |
| 4 | RTH Fungsi Tertentu | | |
| | 1. RTH sempadan rel kereta api | V | |
| | 2. Jalur hijau jaringan listrik tegangan tinggi | V | |
| | 3. RTH sempadan sungai dan RTH sempadan pantai | V | |
| | 4. RTH pengamanan sumber air baku/mata air | V | |
| | 5. Pemakaman | V | |

(Sumber : Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 05/PRT/M/2008)

Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor : 05/PRT/M/2008, Ruang Terbuka Hijau memiliki fungsi utama dan fungsi tambahan. Fungsi utama yaitu fungsi ekologis diantaranya ialah memberi jaminan pengadaan RTH menjadi bagian dari sistem sirkulasi udara (paru-paru kota), pengatur iklim mikro agar sistem sirkulasi udara dan air secara alami dapat berlangsung lancar, sebagai peneduh, produsen oksigen, penyerap air hujan, penyedia habitat satwa, penyerap polutan media udara, air dan tanah dan juga sebagai penahan angin.

Fungsi tambahan dari RTH meliputi tiga macam yaitu fungsi sosial dan budaya, fungsi ekonomi dan fungsi estetika. Fungsi sosial dan budaya yaitu menggambarkan ekspresi budaya lokal, sebagai media komunikasi warga kota, sebagai tempat rekreasi dan sebagai wadah dan obyek pendidikan, penelitian dan pelatihan dalam mempelajari alam. Fungsi ekonomi dari RTH yaitu sebagai sumber produk yang dapat dijual, seperti tanaman bunga, buah, daun dan sayur mayur, sebagai bagian dari usaha pertanian, perkebunan, kehutanan dan lain-lain.

Beberapa fungsi estetika dari RTH antara lain yaitu untuk meningkatkan kenyamanan, memperindah lingkungan kota baik dari skala mikro : halaman rumah, lingkungan permukiman, maupun skala makro : lansekap kota secara keseluruhan, menstimulasi kreativitas dan produktivitas warga kota, pembentuk faktor keindahan arsitektural dan menciptakan suasana serasi dan seimbang antara area terbangun dan tidak terbangun.

1.5.1.11. Tipologi Ruang Terbuka Hijau

Berkaitan dengan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 05/PRT/M/2008 tentang Pedoman Penyediaan dan Pemanfaatan Ruang Terbuka Hijau di Kawasan Perkotaan maka berikut ini disajikan tipologi ruang terbuka hijau sesuai dengan klasifikasi RTH yang ada yang dapat dilihat pada Tabel 1.8.

Tabel 1.8. Tipologi Ruang Terbuka Hijau (RTH)

| Tipologi (RTH) | Keterangan |
|------------------------------|---|
| Berdasarkan Fisik | <ol style="list-style-type: none">1. RTH Alami, berupa habitat liar alami, kawasan lindung, dan taman-taman nasional.2. RTH Non Alami/Binaan, yang terdiri dari taman, lapangan olah raga, makam, dan jalur-jalur hijau jalan. |
| Berdasarkan Struktur Ruang | <ol style="list-style-type: none">1. RTH dengan pola ekologis, merupakan RTH yang memiliki pola mengelompok, memanjang, tersebar.2. RTH dengan pola planologis, merupakan RTH yang memiliki pola mengikuti hirarki dan struktur ruang perkotaan. |
| Berdasarkan Segi Kepemilikan | <ol style="list-style-type: none">1. RTH Publik2. RTH Privat |
| Berdasarkan Fungsi | <ol style="list-style-type: none">1. Fungsi Ekologis2. Fungsi Sosial Budaya3. Fungsi Arsitektural/Estetika4. Fungsi Ekonomi |

(Sumber : Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 05/PRT/M/2008)

1.5.1.12. Manfaat Ruang Terbuka Hijau Kawasan Perkotaan

Keberadaan ruang terbuka hijau yang terdapat di daerah perkotaan mempunyai manfaat antara lain yaitu sebagai sarana untuk mencerminkan identitas daerah, sebagai sarana penelitian, pendidikan dan penyuluhan, sebagai sarana rekreasi aktif dan pasif serta interaksi sosial, meningkatkan nilai ekonomi lahan perkotaan, menumbuhkan rasa bangga dan meningkatkan prestise daerah, sebagai sarana aktivitas sosial bagi anak-anak, remaja, dewasa dan manula, sebagai sarana ruang evakuasi untuk keadaan darurat, memperbaiki iklim mikro dan meningkatkan cadangan oksigen di daerah perkotaan.

1.5.1.13. Jenis-Jenis Ruang Terbuka Hijau Kawasan Perkotaan (RTHKP)

1. Taman Kota

Taman kota merupakan ruang di dalam kota yang ditata untuk menciptakan keindahan, kenyamanan, keamanan, dan kesehatan bagi penggunanya. Selain itu, taman kota difungsikan sebagai paru-paru kota, pengendali iklim mikro, konservasi tanah dan air, dan habitat berbagai flora dan fauna. Apabila terjadi suatu bencana, maka taman kota dapat difungsikan sebagai tempat posko pengungsian. Pepohonan yang ada dalam taman kota dapat memberikan manfaat keindahan, penangkal angin, dan penyaring cahaya matahari. Taman kota berperan sebagai sarana pengembangan budaya kota, pendidikan, dan pusat kegiatan kemasyarakatan.

2. Taman Wisata Alam

Taman Wisata Alam adalah hutan wisata yang memiliki kekayaan alam, baik keindahan nabati, keindahan hewani, maupun keindahan alamnya sendiri mempunyai corak khas untuk dimanfaatkan bagi kepentingan rekreasi dan kebudayaan (Direktorat Jenderal Perlindungan Hutan dan Konservasi Alam).

3. Taman Rekreasi

Taman rekreasi merupakan tempat rekreasi yang berada di alam terbuka tanpa dibatasi oleh suatu bangunan, atau rekreasi yang berhubungan dengan lingkungan dan berorientasi pada penggunaan sumberdaya alam seperti air, hujan, pemandangan alam atau kehidupan di alam bebas. Kegiatan rekreasi dibedakan menjadi kegiatan yang bersifat aktif dan pasif. Kegiatan yang cukup aktif seperti piknik, olah raga, permainan, dan sebagainya melalui penyediaan sarana-sarana permainan.

4. Taman Lingkungan Perumahan Dan Permukiman

Taman lingkungan perumahan dan permukiman merupakan taman dengan klasifikasi yang lebih kecil dan diperuntukkan untuk kebutuhan rekreasi terbatas yang meliputi populasi terbatas/masyarakat sekitar. Taman ini mempunyai fungsi sebagai paru-paru kota (sirkulasi udara dan penyinaran), peredam kebisingan,

menambah keindahan visual, area interaksi, rekreasi, tempat bermain, dan menciptakan kenyamanan lingkungan.

5. Taman Lingkungan Perkantoran Dan Gedung Komersial

Taman lingkungan perkantoran dan gedung komersial merupakan taman dengan klasifikasi yang lebih kecil dan diperuntukkan untuk kebutuhan terbatas yang meliputi populasi terbatas/pengunjung. Taman ini terletak di beberapa kawasan institusi, misalnya pendidikan dan kantor-kantor. Institusi tersebut membutuhkan RTH pekarangan untuk tempat upacara, olah raga, area parkir, sirkulasi udara, keindahan dan kenyamanan waktu istirahat belajar atau bekerja.

6. Taman Hutan Raya

Taman Hutan Raya berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 28 Tahun 2011 tentang Pengelolaan Kawasan Suaka Alam dan Kawasan Pelestarian Alam adalah kawasan pelestarian alam untuk tujuan koleksi tumbuhan dan/atau satwa yang alami atau bukan alami, jenis asli dan/atau bukan jenis asli, yang tidak invasif dan dimanfaatkan untuk kepentingan penelitian, ilmu pengetahuan, pendidikan, menunjang budidaya, budaya, pariwisata, dan rekreasi.

7. Hutan Kota

Hutan kota berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 63 Tahun 2002 tentang Hutan Kota didefinisikan sebagai suatu hamparan lahan yang bertumbuhan pohon-pohon yang kompak dan rapat di dalam wilayah perkotaan baik pada tanah negara maupun tanah hak, yang ditetapkan sebagai hutan kota oleh pejabat yang berwenang.

8. Hutan Lindung

Hutan lindung menurut Undang-Undang No.41 Tahun 1999 tentang Kehutanan merupakan kawasan hutan yang mempunyai fungsi pokok sebagai perlindungan sistem penyangga kehidupan untuk mengatur tata air, mencegah

banjir, mengendalikan erosi, mencegah intrusi air laut, dan memelihara kesuburan tanah.

9. Bentang Alam Seperti Gunung, Bukit, Lereng Dan Lembah

RTH bentang alam adalah ruang terbuka yang tidak dibatasi oleh suatu bangunan dan berfungsi sebagai pengamanan keberadaan kawasan lindung perkotaan; pengendali pencemaran dan kerusakan tanah, air, dan udara; tempat perlindungan plasma nutfah dan keanekaragaman hayati; pengendali tata air; dan sarana estetika kota.

10. Cagar Alam

Cagar Alam berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 28 Tahun 2011 tentang Pengelolaan Kawasan Suaka Alam dan Kawasan Pelestarian Alam adalah kawasan suaka alam yang karena keadaan alamnya mempunyai kekhasan/keunikan jenis tumbuhan dan/atau keanekaragaman tumbuhan beserta gejala alam dan ekosistemnya yang memerlukan upaya perlindungan dan pelestarian agar keberadaan dan perkembangannya dapat berlangsung secara alami.

11. Kebun Raya

Kebun raya adalah suatu area kebun yang ditanami berbagai jenis tumbuhan yang ditujukan terutama untuk keperluan penelitian. Selain itu, kebun raya juga digunakan sebagai sarana wisata dan pendidikan bagi pengunjung. Dua buah bagian utama dari sebuah kebun raya adalah perpustakaan dan herbarium yang memiliki koleksi tumbuh-tumbuhan yang telah dikeringkan untuk keperluan pendidikan dan dokumentasi (<http://id.wikipedia.org>).

12. Kebun Binatang

Kebun binatang adalah tempat dimana hewan dipelihara dalam lingkungan buatan serta dipertunjukkan kepada publik. Selain menyuguhkan atraksi kepada pengunjung dan memiliki berbagai fasilitas rekreasi, kebun binatang juga

mengadakan program-program pembiakan, penelitian, konservasi, dan pendidikan (<http://id.wikipedia.org>).

13. Pemakaman Umum

Pemakaman umum merupakan salah satu fasilitas sosial yang berfungsi sebagai tempat pemakaman bagi masyarakat yang meninggal dunia. Pemakaman umum juga memiliki fungsi lainnya seperti cadangan RTH, daerah resapan air, dan paru-paru kota. Lahan pemakaman selain digunakan untuk tempat pemakaman, umumnya memiliki sedikit lahan untuk ruang terbangun dan sisanya ditanami berbagai jenis tumbuhan.

14. Lapangan Olah Raga

Lapangan olahraga merupakan lapangan yang dibangun untuk menampung berbagai aktifitas olahraga seperti sepak bola, voli, atletik, dan golf serta sarana-sarana penunjangnya. Fungsi lapangan olahraga pertemuan, adalah sebagai sarana wadah interaksi dan olahraga, tempat sosialisasi, bermain, serta untuk meningkatkan kualitas lingkungan sekitarnya.

15. Lapangan Upacara

Lapangan upacara merupakan lapangan yang dibangun untuk kegiatan upacara. Umumnya kegiatan ini dilakukan di halaman perkantoran yang cukup luas dan lapangan olah raga.

16. Parkir Terbuka

Area parkir merupakan unsur pendukung sistem sirkulasi kota yang dapat menambah kualitas visual lingkungan. Lahan parkir terbuka yang ada di perkantoran, hotel, restoran, pusat perbelanjaan, dan lainnya hendaknya ditanami dengan pepohonan agar tercipta lingkungan yang sejuk dan nyaman.

17. Lahan Pertanian Perkotaan

Pertanian kota adalah kegiatan penanaman, pengolahan, dan distribusi pangan di wilayah perkotaan (<http://id.wikipedia.org>).

18. Jalur Dibawah Tegangan Tinggi (SUTT Dan SUTET) Sempadan Sungai, Pantai, Bangunan, Situ Dan Rawa

SUTT (Saluran Udara Tegangan Tinggi) dan SUTET (Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi) adalah sistem penyaluran listrik yang ditujukan untuk menyalurkan energi listrik dari pusat-pusat pembangkit yang jaraknya jauh menuju pusat-pusat beban sehingga energi listrik bisa disalurkan dengan efisien. Daerah sekitarnya hendaklah tidak dijadikan daerah terbangun, tapi dijadikan RTH jalur hijau. RTH ini berfungsi sebagai pengamanan, pengendalian jaringan listrik tegangan tinggi, dan mempermudah dalam melakukan perawatan instalasi.

19. Jalur Pengaman Jalan, Median Jalan, Rel Kereta Api, Pipa Gas Dan Pedestrian

Jalur hijau jalan adalah pepohonan, rerumputan, dan tanaman perdu yang ditanam pada pinggiran jalur pergerakan di samping kiri-kanan jalan dan median jalan. RTH jalur pengaman jalan terdiri dari RTH jalur pejalan kaki, taman pulo jalan yang terletak di tengah persimpangan jalan, dan taman sudut jalan yang berada di sisi persimpangan jalan. Median jalan adalah ruang yang disediakan pada bagian tengah dari jalan untuk membagi jalan dalam masing-masing arah yang berfungsi mengamankan ruang bebas samping jalur lalu lintas. Beberapa fungsi jalur hijau jalan yaitu sebagai penyegar udara, peredam kebisingan, mengurangi pencemaran polusi kendaraan, perlindungan bagi pejalan kaki dari hujan dan sengatan matahari, pembentuk citra kota, dan mengurangi peningkatan suhu udara. Selain itu, akar pepohonan dapat menyerap air hujan sebagai cadangan airtanah dan dapat menetralkan limbah yang dihasilkan dari aktivitas perkotaan.

20. Kawasan Dan Jalur Hijau

Kawasan adalah suatu area yang dimanfaatkan untuk kegiatan tertentu di wilayah perkotaan dan memiliki fungsi utama lindung atau budidaya. RTH kawasan berbentuk suatu areal dan non-linear dan RTH jalur memiliki bentuk koridor dan linear. Jenis RTH berbentuk areal yaitu hutan (hutan kota, hutan lindung, dan hutan rekreasi), taman, lapangan olah raga, kebun raya, kebun pembibitan, kawasan fungsional (perdagangan, industri, permukiman, pertanian), kawasan khusus (hankam, perlindungan tata air, dan plasma nutfah). Sedangkan RTH berbentuk jalur yaitu koridor sungai, sempadan danau, sempadan pantai, tepi jalur jalan, tepi jalur kereta, dan sabuk hijau.

21. Daerah Penyangga (*Buffer Zone*) Lapangan Udara

Daerah penyangga adalah wilayah yang berfungsi untuk memelihara dua daerah atau lebih untuk beberapa alasan (<http://id.wikipedia.org>). Salah satu jenis daerah penyangga adalah daerah penyangga lapangan udara. Daerah penyangga ini berfungsi untuk peredam kebisingan, melindungi lingkungan, menjaga area permukiman dan komersial di sekitarnya apabila terjadi bencana, dan lainnya.

22. Taman Atap (*Roof Garden*).

Taman atap adalah taman yang memanfaatkan atap atau teras rumah atau gedung sebagai lokasi taman. Taman ini berfungsi untuk membuat pemandangan lebih asri, teduh, sebagai insulator panas, menyerap gas polutan, mencegah radiasi ultraviolet dari matahari langsung masuk ke dalam rumah, dan meredam kebisingan. Taman atap ini juga mampu mendinginkan bangunan dan ruangan dibawahnya sehingga bisa lebih menghemat energi seperti pengurangan pemakaian AC. Tanaman yang sesuai adalah tanaman yang tidak terlalu besar dengan sistem perakaran yang mampu tumbuh pada lahan terbatas, tahan hembusan angin, dan tidak memerlukan banyak air.

1.5.1.14. Biomassa

Biomassa adalah jumlah keseluruhan bahan organik pohon yang berada di atas dan di bawah permukaan tanah (Brown, 1997) dalam Siwi, (2012). Pada ekosistem daratan, cadangan karbon disimpan dalam 3 komponen pokok, yaitu:

- a. Bagian hidup (biomasa) adalah masa dari bagian vegetasi yang masih hidup diantaranya ialah batang, ranting, dan tajuk pohon (berikut akar atau estimasinya), tumbuhan bawah atau gulma dan tanaman semusim.
- b. Bagian mati (nekromasa) adalah masa dari bagian pohon yang telah mati baik yang masih tegak di lahan (batang atau tunggul pohon), kayu tumbang/tergeletak di permukaan tanah, tonggak atau ranting, dan daun-daun gugur (seresah) yang belum terlapuk.
- c. Tanah (bahan organik tanah) adalah sisa makhluk hidup (tanaman, hewan dan manusia) yang telah mengalami pelapukan, baik sebagian maupun seluruhnya, dan telah menjadi bagian dari tanah. Ukuran partikel biasanya lebih kecil dari 2 mm.

Kandungan biomassa pada berbagai komponen biomassa dapat beragam, yaitu biomassa daun $\pm 3-5\%$ dan biomassa pada bagian kayu $\pm 60\%$ dari total biomassa pohon pada bagian atas tanah (*Total Above Ground Biomass*) pada hutan tertutup, dan hampir 50% dari biomassa suatu vegetasi hutan tersusun atas unsur karbon Brown (1997) dalam Siwi (2012).

Menurut Siwi (2012) menyebutkan bahwa untuk menghitung biomassa terdapat empat cara utama yaitu:

1. Sampling dengan pemanenan (*Destructive sampling*) secara *in situ*.

Cara sampling dengan pemanenan maksudnya ialah dalam pelaksanaannya yaitu dengan memanen semua bagian tumbuhan tidak terkecuali bagian akar, lalu melalui tahap pengeringan untuk kemudian ditimbang berat biomasanya. Penggunaan metode tersebut termasuk mahal dan banyak menghabiskan waktu walaupun hasil perhitungannya tergolong akurat.

2. Sampling tanpa pemanenan (*Non-destructive sampling*) dengan data hasil pendataan hutan secara *in situ*. Penggunaan metode tersebut yaitu cara

sampling dengan melakukan pengukuran tanpa melakukan pemanenan. Dengan demikian, dalam pelaksanaannya di lapangan, yang diukur diantaranya ialah tinggi atau diameter pohon serta memakai persamaan alometrik untuk dilakukan ekstrapolasi terhadap biomassa.

3. Pendugaan menggunakan teknologi penginderaan jauh.

Metode tersebut dalam penerapannya kurang begitu efektif pada daerah aliran sungai, pedesaan atau wanatani yang berupa mosaik dari berbagai penggunaan lahan dengan hasil persil berukuran kecil atau beberapa ha saja. Selain itu, secara umum kendala yang dialami ialah karena teknologi tersebut sangat mahal dan dari segi teknis pun memerlukan keahlian tertentu. Namun demikian, hasil penginderaan jauh dengan resolusi sedang dinilai sangat bermanfaat untuk membagi area proyek menjadi kelas-kelas vegetasi yang relatif homogen.

Hasil pembagian kelas ini menjadi panduan untuk proses survei dan pengambilan data lapangan. Untuk mendapatkan estimasi biomassa dengan tingkat keakuratan yang baik memerlukan hasil penginderaan jauh dengan resolusi yang tinggi, tetapi hal ini akan menjadi metode alternatif dengan biaya yang besar.

4. Pembuatan model.

Model digunakan untuk menghitung estimasi biomassa dengan frekuensi dan intensitas pengamatan *in situ* atau penginderaan jauh yang terbatas. Umumnya, model empiris ini didasarkan pada jaringan dari *sample plot* yang diukur berulang, yang mempunyai estimasi biomassa yang sudah menyatu atau melalui persamaan allometrik yang mengkonversi volum menjadi biomassa (*Australian Greenhouse Office 1999*).

Berdasarkan beberapa cara perhitungan biomassa yang telah disebutkan maka dapat menjadi panduan ketika akan memilih salah satu cara tersebut yang sesuai dengan jenis penelitian yang akan dilakukan. Untuk lebih lengkapnya mengenai perbandingan beberapa jenis metode pendugaan biomassa menurut berbagai sumber acuan dapat dilihat pada Tabel 1.9.

Tabel 1.9. Berbagai Metode Untuk Pendugaan Biomassa

| No | Kategori | Metode | Data yang digunakan | Karakteristik | Referensi |
|----|---------------------|--|--|--------------------------------------|---|
| 1. | Pengukuran Lapangan | Penarikan contoh (<i>Destruktif</i>) | Pohon Contoh | Individu Pohon | Klinge et. al. |
| | | <i>Allometric Equation</i> (Persamaan Alometrik) | Pohon Contoh | Individu Pohon | Overman et. al. (1994); Honzak et. al. (1996) |
| | | Konversi dari volume ke biomassa | Volume dari pohon contoh atau tegakan | Individu pohon atau tegakan vegetasi | Brown et. al. (1989); Brown dan Lugo (1992); Segura dan Kanninen (2005) |
| 2. | Penginderaan Jauh | Metode berdasarkan <i>fine spatial resolution data</i> | Aerial photographs, IKONOS | Per-pixe level | Tiwari dan Singh(1984); Thenkabail et. al. (2004) |
| | | Metode berdasarkan <i>medium spatial resolution data</i> | Landsat TM/ETM+, SPOT | Per-pixel level | Roy dan Ravan (1996); Nelson et. al. (2000); Lu (2005) |
| | | Metode berdasarkan <i>coarse spatial resolution data</i> | IRS-IC WiFS, AVHRR | Per-pixel level | Wylie et. al. (2002); Dong et. al. (2003) |
| | | Metode berdasarkan data RADAR | Radar, Lidar | Per-pixel level | Santor et. al. (2002, 2003) |
| 3. | SIG | Metode berdasarkan <i>Ancillary data</i> | Elevasi, kemiringan, tanah, presipitasi, dll | Per-pixel level atau per-field level | Brown et. al. (1994); Inversion et. al. (1994); Brown dan Gaston (1995) |

Sumber: Lu, (2005) dalam Siwi, (2012)

1.5.1.15. Kemampuan Daya Serap Vegetasi Terhadap CO₂

Vegetasi merupakan bentuk kenampakkan obyek di permukaan bumi yang mempunyai peran sebagai sumber kehidupan bagi semua makhluk hidup yang tinggal di bumi. Keberadaan vegetasi yang berada di daerah perkotaan biasa disebut dengan hutan kota. Hutan kota juga merupakan bagian dari ruang terbuka hijau yang mempunyai fungsi pelestarian lingkungan (ekologi). Penyerapan gas karbon dioksida oleh vegetasi terletak pada proses fotosintesis.

Kriedemann (1977) dalam Irwan (2005) mengemukakan bahwa fotosintesis adalah suatu proses mendasar yang sangat penting untuk tanaman hortikultura

karena 90-95 % dari berat basah tanaman merupakan hasil langsung dari aktivitas fotosintesis.

Fotosintesis adalah suatu proses metabolisme tumbuh-tumbuhan berhijau daun yang sangat dinamis, tanggap terhadap panjangnya hari dan faktor-faktor iklim. Monteith (1990) dalam Irwan (2005) mengemukakan bahwa fotosintesis pada tingkat tanaman yang tumbuh normal akan menggunakan semua CO₂ pada lapisan 30 meter di atas tanaman dalam sehari.

Selain itu, menurut Grey dan Deneke (1976) dalam Irwan (2005) menyatakan bahwa setiap tahun vegetasi di bumi ini mempersenyawakan sekitar 150.000 juta ton CO₂ dan 25.000 juta ton hidrogen dengan membebaskan 400.000 juta ton O₂ ke atmosfer, serta menghasilkan 450.000 juta ton zat-zat organik. Setiap jam 1 hektar daun-daun hijau menyerap 8 kg CO₂ yang ekuivalen dengan CO₂ yang dihembuskan oleh nafas manusia sekitar 200 orang dalam waktu yang sama sebagai hasil pernafasannya.

Soemarwoto (1991) dalam Irwan (2005) menyatakan bahwa pada fase pertumbuhan, tumbuhan atau sekumpulan tumbuhan seperti hutan, laju fotosintesis (P) lebih besar daripada proses pernafasan (R), sehingga $P/R > 1$. Pada fase ini laju pengikatan CO₂ lebih besar daripada laju emisi CO₂, sehingga hutan mengurangi kadar CO₂ dalam atmosfer. Akan tetapi, semakin besar hutan maka semakin banyak daun yang ternaungi dan semakin besar pula proporsi bagian tumbuhan yang kurang mengandung klorofil seperti batang dan akar.

Simpson dan McPherson (1999) dalam Siwi (2012) menjelaskan bahwa pada ruang terbuka hijau yang memiliki jumlah 10.000 batang dengan rata-rata umur tanaman 16 sampai dengan 20 tahun, mempunyai daya serap karbon dioksida sebesar 800 ton/tahun. Selain itu, siklus karbon yang terdapat pada komunitas tumbuhan mulanya karbon dioksida (CO₂) diserap dari udara yang selanjutnya disimpan dalam bentuk kayu (biomassa) untuk kemudian dilepaskan kembali ke udara ketika tumbuhan tersebut telah membusuk atau terbakar. Berkaitan dengan hal tersebut maka berikut ini disajikan informasi tentang daya serap dari beberapa tipe penutupan lahan menurut IPCC (2006) yang dapat dilihat pada Tabel 1.10.

Dahlan (1997) dalam Siwi (2012) mengemukakan bahwa kemampuan vegetasi dalam menyerap CO₂ memiliki kemampuan daya serap yang berbeda dilihat dari umur dan jenis vegetasinya. Berdasarkan hasil penelitian beliau terhadap tanaman mahoni dimana kerapatannya 940 pohon/ha dengan usia 11 tahun mempunyai kemampuan daya serap sebesar 25,40 ton CO₂ /ha/tahun. Penelitian terhadap tanaman mangium (*Acacia mangium*) pada usia yang sama dengan tanaman mahoni serta dengan kerapatan 912 pohon/ha mempunyai kemampuan daya serap sebesar 23,64 ton CO₂/ha/tahun. Selain itu, untuk tanaman sungkai (*Peronema canescens*) yang mempunyai usia sekitar 8 tahun dengan kerapatan 1.016 pohon/ha mempunyai daya serap 18,06 kg CO₂/ha/tahun.

Tabel 1.10. Kemampuan Daya Serap Terhadap Emisi CO₂ di Beberapa Tipe Penutup Lahan

| No | Tipe Penutup Lahan | Daya Serap Gas CO ₂ | |
|----|--|--------------------------------|--|
| | | (tCO ₂ /ha/jam) | (tCO ₂ /ha/tahun) |
| 1 | Ladang | 0,15 | 657 |
| 2 | Agroforestry: Multi jenis Sederhana dengan kerapatan tinggi | 0,84 - 1,68 2,93 - 3,77 | 3.679,20 – 7.358,40 12.833,40 – 16.512,60 |
| 3 | Sawah | 0,04 | 175,20 |
| 4 | Semak dan Rumput | 0,34 | 1.489,20 |
| 5 | Hutan | 0,13 | 569,40 |
| 6 | Kebun | 0,13 | 569,40 |

Sumber : IPCC (2006) dalam Siwi (2012)

1.5.2. Penelitian Sebelumnya

Penelitian mengenai kajian kebutuhan oksigen berdasarkan ketersediaan ruang terbuka hijau sebelumnya telah dilakukan oleh Erwin Hardika Putra pada tahun 2012 dengan judul Analisis Kebutuhan Ruang Terbuka Hijau Berdasarkan Pendekatan Kebutuhan Oksigen Menggunakan Citra Satelit EO-ALI (*Earth Observer-1 Advanced Land Imager*) di Kota Manado. Penelitian tersebut bertujuan untuk memetakan RTH aktual menggunakan citra satelit EO-ALI dan mengestimasi kebutuhan RTH menggunakan pendekatan berbasis kebutuhan oksigen. Hasil penelitian tersebut ialah berupa sebaran ruang terbuka hijau aktual dari pengolahan NDVI dan jumlah kebutuhan oksigen di Kota Manado.

Penelitian yang dilakukan oleh Aringga Budi Putra di tahun yang sama dengan judul Analisis Kecukupan Ruang Terbuka Hijau (RTH) Privat Permukiman Dalam Menyerap Karbon Dioksida (CO_2) dan Memenuhi Kebutuhan Oksigen (O_2) Di Surabaya Barat (Studi Kasus Kecamatan Lakarsantri). Tujuan penelitian tersebut adalah membandingkan luasan RTH yang ada di kawasan Perumahan Surabaya Barat Kecamatan Lakarsantri dengan Standar Baku Mutu Nasional, menentukan korelasi luasan RTH dengan kecukupan vegetasi yang dapat menyerap kadar karbon dioksida (CO_2) di daerah penelitian dan menentukan distribusi vegetasi RTH (Ruang Terbuka Hijau) dapat mencukupi pengurangan CO_2 yang ada di daerah penelitian tersebut. Hasil penelitian tersebut berupa besar kecilnya serapan emisi karbon dioksida yang berasal dari permukiman, jumlah kebutuhan O_2 dari RTH Privat dan daya serap CO_2 melalui teknik Box Model oleh RTH Privat yang berada di daerah penelitian.

Sukentyas Estuti Siwi (2012) melakukan penelitian yang tertuang dalam judul Kemampuan Ruang Hijau Dalam Menyerap Gas Karbon Dioksida (CO_2) di Kota Depok. Tujuan penelitian ini ialah menghitung dan memetakan persebaran ruang hijau di Kota Depok pada tahun 2001 dan 2011; menghitung korelasi antara indeks vegetasi (NDVI) dengan karakteristik tajuk, tutupan vegetasi bawah dan biomassa; serta menghitung estimasi biomassa hijau dan kemampuan ruang hijau dalam menyerap gas CO_2 . Hasil dari penelitian tersebut menyebutkan bahwa selama kurun waktu 11 tahun (tahun 2000-2011) telah terjadi penurunan luas

ruang hijau di wilayah Kota Depok sebesar 2.691,22 ha dengan semakin berkurangnya luas ruang hijau mengakibatkan menurunnya kandungan biomassa hijau sebesar 759.890 kg dan kemampuan ruang hijau tersebut dalam menyerap gas CO₂ sebesar 1.116.681 kg CO₂. Perbandingan penelitian sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 1.11.

Tabel 1.11. Perbandingan Penelitian Sebelumnya

| Peneliti | Judul | Tujuan | Metode | Hasil |
|----------------------------|---|---|---|---|
| Erwin Hardika Putra (2012) | Analisis Kebutuhan Ruang Terbuka Hijau Berdasarkan Pendekatan Kebutuhan Oksigen Menggunakan Citra Satelit EO-ALI (Earth Observer-1 Advanced Land Imager) Di Kota Manado | <ol style="list-style-type: none"> 1. Memetakan RTH aktual menggunakan citra satelit EO-ALI. 2. Mengestimasi kebutuhan RTH menggunakan pendekatan berbasis kebutuhan oksigen. | Transformasi indeks vegetasi (NDVI) dan rumus Gerakis (1974) yang telah dimodifikasi oleh Wisesa (1988) untuk perhitungan luas RTH | RTH aktual di daerah penelitian dapat diidentifikasi agihannya berdasarkan pendekatan melalui aplikasi formula NDVI. Kebutuhan RTH di daerah penelitian dapat diketahui luasannya dengan menggunakan pendekatan Berbasis kebutuhan oksigen. |
| Aringga Budi Putra (2012) | Analisis Kecukupan Ruang Terbuka Hijau (RTH) Privat Permukiman Dalam Menyerap Karbon Dioksida (CO ₂) Di Surabaya Barat (Studi Kasus: Kecamatan Lakarsantri) | <ol style="list-style-type: none"> 1. Membandingkan luasan RTH yang ada di daerah penelitian dengan Standar Baku Mutu Nasional. 2. Menentukan korelasi luasan RTH dengan kecukupan vegetasi yang dapat menyerap kadar karbon dioksida (CO₂) di daerah penelitian. 3. Menentukan distribusi vegetasi RTH (Ruang Terbuka Hijau) dapat mencukupi pengurangan kadar CO₂ yang ada di daerah penelitian. | <p>Perhitungan Serapan Emisi Karbon Permukiman.</p> <p>Perhitungan Kebutuhan O₂ Yang Diperlukan dari RTH Privat.</p> <p>Perhitungan Emisi CO₂ Kegiatan Permukiman (Primer).</p> <p>Analisa Kemampuan RTH Privat Dalam Memproduksi O₂ Yang Dibutuhkan Manusia Setiap Hari Di Permukiman Tersebut.</p> <p>Analisa Daya Serap Emisi CO₂ Secara Box Model Oleh RTH Privat</p> | <p>Luas RTH Privat dengan Standar Baku Mutu dari UU No. 26 Tahun 2007 dalam satuan m² pada tiga jenis tipe rumah sederhana, menengah dan mewah.</p> <p>Laju serapan karbon dioksida di RTH Privat dalam satuan gr/detik yang terdapat pada tiga jenis tipe rumah yaitu sederhana, menengah dan mewah.</p> <p>Distribusi Vegetasi RTH (Ruang Terbuka Hijau) mencukupi pengurangan kadar CO₂ RTH Privat yang ada di daerah penelitian pada tiga jenis tipe rumah yaitu sederhana, menengah dan mewah.</p> |

| Peneliti | Judul | Tujuan | Metode | Hasil |
|------------------------------------|--|---|---|---|
| Sukentyas Estuti Siwi (2012) | Kemampuan Ruang Hijau Dalam Menyerap Gas Karbon Dioksida (CO ₂) di Kota Depok | <ol style="list-style-type: none"> 1. Menghitung dan memetakan persebaran ruang hijau di Kota Depok pada tahun 2000 dan 2011. 2. Menghitung korelasi antara indeks vegetasi (NDVI) dengan karakteristik tajuk, tutupan vegetasi bawah, dan biomassa. 3. Menghitung estimasi biomassa hijau dan kemampuan ruang hijau dalam menyerap gas CO₂. | Penginderaan Jauh (Penerapan algoritma (<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>) NDVI), Analisis Kuantitatif (Korelasi dan Regresi) | Selama kurun waktu 11 tahun (tahun 2000-2011) telah terjadi penurunan luas ruang hijau di wilayah Kota Depok. Terjadi penurunan kandungan biomassa hijau di wilayah Kota Depok. |
| Nur Azis Widodo (2013) | Analisis Estimasi Kemampuan Daya Serap Emisi Karbon Dioksida (CO ₂) Berdasarkan Biomassa Hijau Melalui Pemanfaatan Citra ALOS AVNIR-2, Kasus Di Kota Surakarta | <ol style="list-style-type: none"> 1. Mengkaji kemampuan Citra ALOS AVNIR-2 untuk pemetaan indeks vegetasi menggunakan transformasi indeks vegetasi (<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>) NDVI. 2. Mengestimasi distribusi agihan biomassa hijau berdasarkan perhitungan persamaan regresi linier antara nilai indeks vegetasi (<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>) NDVI dan kandungan biomassa lapangan. 3. Mengestimasi kemampuan daya serap emisi karbon dioksida (CO₂) berdasarkan biomassa hijau melalui konversi nilai biomassa hijau menggunakan persamaan reaksi fotosintesis. 4. Menganalisis keeratan hubungan antara biomassa hijau dan kemampuan daya serap emisi karbon dioksida (CO₂). | Penginderaan Jauh (Penerapan formula (<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>) NDVI), Analisis Regresi dan Korelasi | Kemampuan Daya Serap Emisi Karbon Dioksida di Kota Surakarta berdasarkan ketersediaan potensi kandungan biomassa hijau. |

*Hasil yang diharapkan

1.6. Kerangka Penelitian

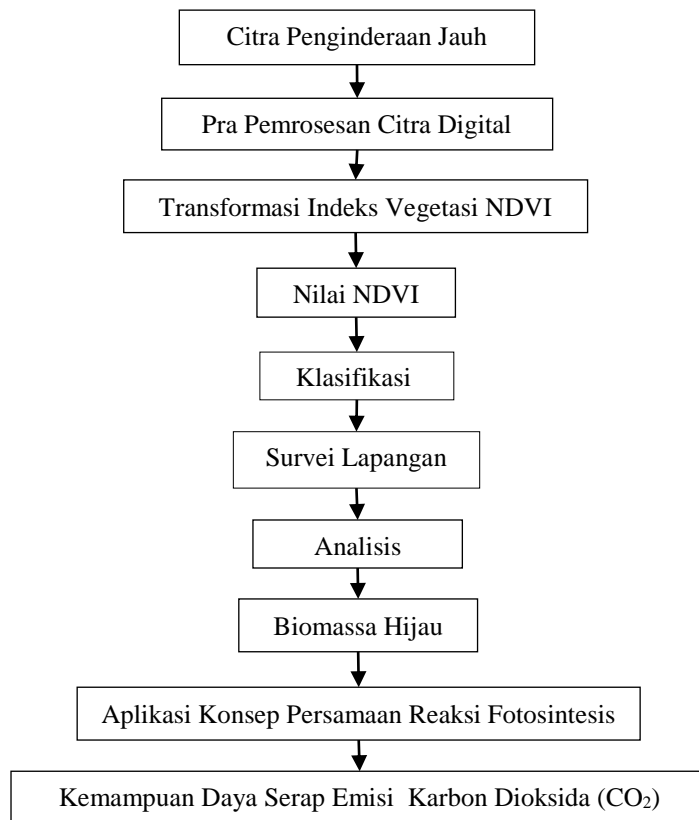
Karbon dioksida merupakan salah satu jenis gas yang berbahaya baik bagi lingkungan alam dan juga bagi kesehatan manusia. Jenis gas tersebut jika terakumulasi dalam jumlah yang besar akan berakibat pada menipisnya ketersediaan oksigen di daerah kota sehingga yang terjadi adalah suhu di daerah kota menjadi meningkat. Sebagai fungsi ekologi, ruang hijau memiliki kemampuan untuk menyerap gas karbon dioksida sehingga dapat menurunkan peningkatan suhu udara dan memperbaiki kualitas udara di daerah kota. Kemampuan penyerapan ruang terbuka hijau terhadap emisi karbon dioksida dapat diduga atau diestimasi daya serapnya dengan berbagai cara. Salah satu cara yang dapat dilakukan ialah melalui pendekatan teknik penginderaan jauh.

Citra ALOS AVNIR-2 merupakan data penginderaan jauh yang dapat dimanfaatkan untuk menduga atau mengestimasi kemampuan daya serap CO₂. Citra yang akan digunakan sebelumnya harus melalui pra pemrosesan citra digital. Tahap pra pemrosesan digital yang dimaksud yaitu koreksi radiometrik dan koreksi geometrik agar dalam proses pengolahan citra digital dapat diperoleh hasil yang optimal.

Transformasi spektral yang dapat menonjolkan tingkat kehijauan vegetasi salah satunya ialah dengan menggunakan transformasi indeks vegetasi NDVI. Berdasarkan klasifikasi terhadap hasil transformasi indeks vegetasi NDVI maka akan dihasilkan tiga kelas kerapatan vegetasi. Survei lapangan dilakukan untuk mengecek atau verifikasi terhadap kelas kerapatan vegetasi sedangkan pengukuran biomassa lapangan dilakukan untuk mengambil data terkait dengan ketebalan tajuk, kerapatan tajuk, persentase tutupan vegetasi atas dan persentase tutupan vegetasi bawah. Dalam hal ini penentuan jumlah sampel ditentukan secara *purposive sampling* berdasarkan kelas kerapatan vegetasi.

Biomassa hijau diperoleh dengan cara analisis regresi antara kandungan biomassa sampel hasil pengukuran lapangan dengan nilai indeks vegetasi NDVI. Analisis regresi tersebut dilakukan secara linier dengan melibatkan dua variabel. Nilai indeks vegetasi NDVI dalam hal ini berperan sebagai variabel bebas sedangkan kandungan biomassa sampel berperan sebagai variabel terikat.

Perhitungan kemampuan daya serap emisi karbon dioksida yaitu dengan mengkonversi nilai kandungan biomassa hijau berdasarkan konsep persamaan reaksi kimia fotosintesis. Secara lebih jelas maka alur kerangka penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.10.



Gambar 1.10. Kerangka Penelitian

1.7. Hipotesis

1. Citra ALOS AVNIR-2 mempunyai ketelitian tinggi lebih dari 80 % untuk pemetaan indeks vegetasi menggunakan transformasi indeks vegetasi NDVI.
2. Pendugaan biomassa hijau mempunyai ketelitian tinggi dengan menggunakan regresi nilai indeks vegetasi NDVI dan kandungan biomassa lapangan.
3. Pendugaan kemampuan daya serap emisi CO₂ mempunyai ketelitian tinggi berdasarkan biomassa hijau dengan menggunakan persamaan reaksi fotosintesis.
4. Terdapat hubungan (korelasi) antara biomassa hijau dan kemampuan daya serap emisi karbon dioksida (CO₂).

1.8. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode Penginderaan Jauh resolusi menengah berdasarkan kajian tingkat per piksel dengan menggunakan transformasi indeks vegetasi (*Normalized Difference Vegetation Index*) NDVI. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah Citra ALOS AVNIR-2 Perekaman 22 Juli tahun 2010 dengan resolusi spasial 10 meter. Dalam penelitian ini, Sistem Informasi Geografis digunakan untuk mendukung penyajian data secara spasial, penyajian terkait dengan informasi luasan dan analisis data.

1.8.1. Alat dan Bahan Penelitian

1.8.1.1. Alat Penelitian

1. Seperangkat komputer yang digunakan sebagai alat utama untuk mengerjakan penelitian dengan spesifikasi berikut :
 - Processor : Standar
 - Hardisk : 500 GB
 - RAM : 4 GB (DDR3 Memory)
 - VGA : Standar
2. Perangkat lunak ENVI 5.0 untuk pemrosesan citra satelit.
3. Perangkat lunak ArcGIS 10.1 untuk perhitungan luasan dan penyajian data.
4. Perangkat lunak IBM SPSS 21 untuk analisis statistik.
5. Perangkat lunak Microsoft Office 2010 untuk pembuatan laporan.
6. GPS Garmin, kompas dan klinometer.
7. Kamera Digital untuk keperluan dokumentasi lapangan.
8. Seperangkat Printer CANON MP237 untuk keperluan cetak hasil peta dan laporan.

1.8.1.2. Bahan Penelitian

1. Citra Satelit ALOS AVNIR-2 Level 1B2R Perekaman 22 Juli 2010.
2. Peta Rupabumi Indonesia (RBI) lembar 1408-343 Surakarta Tahun 2001 Skala 1 : 25.000.
3. Peta *shapefile* digital Kota Surakarta skala 1 : 25.000.

1.8.2. Cara Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini meliputi data primer dan data sekunder. Data-data yang dikumpulkan untuk mendukung penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Data primer meliputi :

- Informasi indeks vegetasi hasil transformasi NDVI yang diperoleh dari hasil pengolahan data citra satelit.
- Observasi dan pengukuran biomassa lapangan yang meliputi kerapatan tajuk, ketebalan tajuk, persentase tutupan tajuk dan persentase vegetasi bawah.

2. Data sekunder meliputi :

- Citra ALOS AVNIR-2 Level 1B2R 22 Juli 2010 sumber dari Laboratorium Penginderaan Jauh & Sistem Informasi Geografi UGM.
- Peta Rupabumi Indonesia Digital lembar 1408-343 Surakarta tahun 2001 sumber dari BIG (Badan Informasi Geospasial).

1.8.3. Tahap Penelitian

Tahapan dalam melakukan penelitian akan dipaparkan sebagai berikut :

1. Tahap Persiapan

a. Studi Pustaka

Studi pustaka merupakan bentuk kegiatan persiapan yang meliputi mengumpulkan dasar teori atau landasan teori yang mendukung penelitian, memahami konsep penelitian beserta alur kerangka penelitian, menguasai proses pengerjaan secara teknis dan cara pengolahan data, mengumpulkan literatur-literatur relevan yang diperoleh dari media internet, buku-buku, jurnal, paper, skripsi, tesis dan lainnya.

b. Menyiapkan data-data sekunder yang diperlukan seperti data Citra Satelit ALOS AVNIR-2 dengan waktu perekaman yang tergolong baik untuk digunakan dan juga memahami konsep dalam penggunaan teknik sampling yang sesuai dengan penelitian yang dilakukan.

c. Mempersiapkan kelengkapan alat dan bahan yang diperlukan dalam penelitian berupa data citra dan alat untuk survei lapangan seperti GPS dan peralatan lainnya guna memudahkan penelitian yang dikerjakan.

2. Tahap Pengolahan Data

a. Pra Pemrosesan Citra

Citra ALOS AVNIR-2 yang akan digunakan merupakan citra murni atau citra asli dengan informasi spektral yang mempunyai empat saluran. Status level data citra adalah 1B2R, dengan demikian citra tersebut harus melalui tahap pra pemrosesan digital yang meliputi koreksi secara radiometrik dan geometrik.

Koreksi radiometrik dilakukan adalah dengan mengubah DN menjadi nilai radiansi (radiasi dari obyek ke sensor). Cara perhitungan koreksi tersebut dengan menggunakan Band Math pada ENVI 5.0. Adapun persamaan konversi nilai DN ke *sensor at radiance* untuk Citra ALOS adalah sebagai berikut :

$$L_{sat} = (DN + a) \times UCC$$

Keterangan :

L_{sat} = Nilai radiansi spektral

DN = Nilai *Digital Number*

a = Koefisien kalibrasi absolut yang terdapat pada header citra, untuk citra ALOS AVNIR-2 nilai $a = 0$

UCC = Koefisien unit konversi (*Unit Conversion Coefficient*), untuk citra ALOS AVNIR-2 nilai koefisien unit konversi pada setiap band disajikan pada Tabel 1.12.

Tabel 1.12. Koefisien Unit Konversi Tiap Band Citra ALOS AVNIR-2

| Nama Saluran | Panjang Gelombang | UCC |
|---------------------------|---------------------------|-------|
| Band 1 (Biru) | 0,42 – 0,50 μm | 0,588 |
| Band 2 (Hijau) | 0,52 – 0,60 μm | 0,573 |
| Band 3 (Merah) | 0,61 – 0,69 μm | 0,502 |
| Band 4 (Inframerah dekat) | 0,76 – 0,89 μm | 0,835 |

Sumber : As-syakur *et al.* (2010)

Citra ALOS AVNIR-2 yang diperoleh belum memiliki informasi georeferensi sehingga sebelum pemrosesan lebih lanjut maka perlu dilakukan koreksi geometrik agar mempunyai kesesuaian antara posisi nilai piksel dengan posisi yang sebenarnya di lapangan.

Koreksi geometrik yang digunakan yaitu metode *image to map registration* dengan menggunakan titik ikat atau *Ground Control Point* (GCPs). Sebagai sumber data yang telah mempunyai koordinat geografi maka peta RBI skala 1 : 25.000 digunakan sebagai acuan referensi untuk melakukan koreksi terhadap Citra ALOS AVNIR-2. Melihat bahwa Citra yang akan digunakan mempunyai topografi yang bervariasi maka jenis transformasi yang dipilih adalah *affine* dimana hanya memerlukan empat buah titik ikat.

Adanya koreksi citra baik radiometrik dan geometrik tersebut dimaksudkan agar citra yang digunakan dapat diolah secara optimal sehingga dapat diekstraksi menjadi citra baru dengan informasi spektral yang lebih baik serta mempunyai posisi koordinat geografi yang sesuai dengan kondisi sebenarnya di lapangan.

b. Penggabungan Citra

Data citra ALOS AVNIR-2 yang digunakan pada mulanya terdiri dari empat band yang terpisah sehingga band-band tersebut harus dilakukan penggabungan menjadi satu file yang utuh. File citra yang terdiri empat band yang telah digabungkan tersebut dimaksudkan untuk menghasilkan citra multispektral atau citra komposit. Proses penggabungan file citra yang terpisah dilakukan dengan menggunakan *Layer Stacking* dimana merupakan tools yang terdapat pada perangkat lunak ENVI 5.0.

c. Proses Pemotongan Citra

Citra ALOS AVNIR-2 yang telah melalui tahap pra pemrosesan citra kemudian tahap yang selanjutnya adalah proses pemotongan citra. Proses pemotongan citra (*Masking Image*) dilakukan dengan metode *subset using ROIs* menggunakan perangkat lunak ENVI 5.0.

d. Pemrosesan Citra Digital

1. Transformasi Indeks Vegetasi

Kenampakan vegetasi pada citra satelit dapat ditonjolkan secara optimal sehingga dapat dibedakan antara obyek yang berupa vegetasi dan non-vegetasi. Oleh karena itu, maka diperlukan suatu bentuk transformasi spektral yang khusus untuk memaksimalkan kenampakan obyek vegetasi. Salah satu bentuk transformasi indeks vegetasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah (*Normalized Difference Vegetation Index*) NDVI. Pada Citra ALOS AVNIR-2, panjang gelombang yang digunakan untuk melakukan transformasi adalah band inframerah dekat dan band merah. Adapun untuk bentuk persamaan perhitungan transformasi indeks vegetasi NDVI sebagai berikut :

$$NDVI = \frac{\text{Near Infrared band} - \text{Red band}}{\text{Near Infrared band} + \text{Red band}}$$

Keterangan

NDVI : *Normalized Difference Vegetation Index*

Near Infrared band : Band inframerah dekat

Red band : Band merah

Faktor perbedaan rentang nilai NDVI pun juga dipengaruhi oleh adanya variasi vegetasi dan jenis vegetasi serta pada wilayah yang berbeda-beda. Untuk perhitungan formula NDVI dalam penelitian ini dengan memanfaatkan fasilitas Band Math dengan bantuan *software* ENVI 5.0.

2. Klasifikasi Citra Hasil Transformasi

Nilai indeks vegetasi NDVI perlu dilakukan klasifikasi agar diperoleh kelas kerapatan vegetasi berdasarkan rentang nilai NDVI yang dihasilkan. Dalam hal ini kelas kerapatan vegetasi diklasifikasikan ke dalam tiga kelas yaitu rendah, sedang dan tinggi. Ukuran kerapatan vegetasi yang terkait dengan pembagian interval di setiap kelas kerapatan dari hasil transformasi indeks vegetasi NDVI dalam hal ini mengacu pada klasifikasi tingkat kerapatan vegetasi yang dikeluarkan oleh Departemen Kehutanan tahun 2003. Oleh karena itu, dalam penelitian ini tidak dilakukan klasifikasi kerapatan vegetasi berdasarkan nilai ambang batas atau

threshold nilai maksimum dan nilai minimum pada citra yang telah diolah. Berpedoman pada klasifikasi kerapatan vegetasi yang telah baku tersebut maka untuk melakukan verifikasi di lapangan terkait dengan perbedaan di setiap kelas kerapatan vegetasi yaitu rendah, sedang dan tinggi dapat menjadi relatif berdasarkan pengalaman peneliti ketika berlangsungnya observasi di lapangan dengan tetap melihat nilai indeks vegetasi NDVI dari klasifikasi yang telah baku tersebut. Berikut disajikan informasi mengenai klasifikasi tingkat kerapatan vegetasi berdasarkan rentang nilai NDVI dari Departemen Kehutanan tahun 2003 yang dapat dilihat pada Tabel 1.13.

Tabel 1.13. Klasifikasi Kelas Kerapatan Vegetasi

| No | Rentang Nilai NDVI | Kelas Kerapatan Vegetasi |
|----|--------------------|--------------------------|
| 1 | > 0,42 - 1 | Tinggi |
| 2 | > 0,32 - 0,42 | Sedang |
| 3 | 0,100 - 0,32 | Rendah |

Sumber : Departemen Kehutanan (2003) dengan penyesuaian dalam Maryantika, dkk

Hal yang menjadi dasar dilakukannya proses klasifikasi nilai NDVI dalam penelitian ini adalah dengan mengacu pada klasifikasi tingkat kerapatan vegetasi dari Departemen Kehutanan tahun 2003 dengan sedikit pada rentang nilai NDVI dimana yang ditampilkan hanya nilai NDVI yang bervegetasi saja sedangkan nilai NDVI yang tidak mencerminkan vegetasi yaitu -1 sampai dengan 0 dihilangkan dan tidak dimasukkan dalam rentang nilai klasifikasi indeks vegetasi NDVI. Proses penyesuaian kelas interval kerapatan vegetasi dan jumlah kelas kerapatan dilakukan dengan melakukan proses editing pada *raster color slice* memanfaatkan *software* ENVI 5.0.

e. Penentuan Sampel

Teknik sampling yang digunakan dalam penelitian ini yaitu pengambilan sampel berdasarkan pertimbangan cermat dan akurat dimana menurut Yunus (2010) juga disebut dengan *purposive sampling*. Sampel yang telah dipilih dianggap secara relevan dapat mewakili karakter dari seluruh populasi yang terdapat heterogenitas terkait dengan obyek vegetasi. Selain itu, pengambilan sampel berstrata didasarkan pada tiga kelas kerapatan vegetasi yang berbeda yaitu rendah, sedang dan tinggi.

f. Survei lapangan

Survei lapangan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah untuk menguji tingkat kerapatan vegetasi yang telah dikelompokkan ke dalam tiga kelas dari hasil pemrosesan citra digital. Kegiatan lainnya ialah melakukan pengukuran biomassa lapangan berdasarkan jumlah titik survei yang telah dibuat dengan ketentuan untuk setiap luas plot sampel di lapangan berukuran $20\text{ m} \times 20\text{ m}$ yang setara dengan 2×2 piksel yang terdapat pada citra satelit.

d. Perhitungan biomassa lapangan

Perhitungan biomassa lapangan dilakukan berdasarkan hasil plot pada daerah sampel yang sebelumnya telah ditentukan. Biomassa lapangan dihitung dengan menggunakan pendekatan yang disebutkan oleh George W. Cox (1976) dalam Siwi (2012) dengan perubahan.

Komponen biomassa lapangan yang diukur meliputi ketebalan tajuk, kerapatan tajuk, persentase tutupan tajuk dan persentase tutupan vegetasi bawah. Berdasarkan asumsi yang digunakan yaitu bahwa standar biomassa yang ditujukan untuk vegetasi atas setara dengan kandungan biomassa hijau areal pepohonan dan semak belukar yaitu sebesar $6,0\text{ kg/m}^2$. Sementara itu, untuk vegetasi bawah setara dengan persawahan, standar biomasanya diasumsikan sebesar $1,5\text{ kg/m}^2$ ((Owen, 1974 dalam Yamamoto, 1983) dalam Siwi, 2012). Bentuk persamaan matematis untuk perhitungan biomassa lapangan yaitu sebagai berikut :

$$\text{BM} = \{[\text{Te} \times \text{Re} \times \text{Cp} \times 6,0\text{ kg/m}^2] + (\text{Cr} \times 1,5\text{ kg/m}^2)\}$$

Dimana,

BM = kandungan biomassa hijau (kg/m^2)

Te = ketebalan tajuk (m)

Re = kerapatan tajuk ($\%/m$)

Cp = persentase tutupan tajuk (%)

Cr = persentase tutupan vegetasi bawah (%)

Sumber : Siwi (2012)

3. Uji Ketelitian Klasifikasi

Purwadhi (2001) menjelaskan bahwa hasil uji ketelitian sangat mempengaruhi besarnya tingkat kepercayaan pengguna terhadap setiap jenis data maupun metode analisisnya sehingga penggunaan data dan metode tertentu dalam suatu penelitian perlu dilakukan uji ketelitian.

Uji ketelitian yang digunakan dalam penelitian ini yaitu menggunakan matriks kesalahan (*confusion matrix*). Dalam penelitian ini uji ketelitian klasifikasi ditujukan pada hasil transformasi indeks vegetasi NDVI dimana yang diuji adalah kelas kerapatan vegetasi yang terkategori ke dalam tiga kelas yaitu rendah, sedang dan tinggi. Contoh matriks kesalahan disajikan pada Tabel 1.14.

Tabel 1.14. Contoh Matriks Kesalahan (*Confusion Matrix*)

| Uji Lapangan | Hasil Klasifikasi | | | Total Baris | Total Kolom | Omisi | Komisi | UA (%) | PA (%) |
|--------------|-------------------|----|----|-------------|-------------|---------|---------|--------|--------|
| | T | S | R | | | | | | |
| T | TT | TS | TR | D | G | TS+TR/D | ST+RT/G | TT/D | TT/G |
| S | ST | SS | SR | E | H | ST+SR/E | TS+RS/H | SS/E | SS/H |
| R | RT | RS | RR | F | I | RT+RS/F | TR+SR/I | RR/F | RR/I |

Sumber : Siwi (2012)

Keterangan

T = Kerapatan Vegetasi Tinggi

S = Kerapatan Vegetasi Sedang

R = Kerapatan Vegetasi Rendah

Total Baris

D = TT+TS+TR

E = ST+SS+SR

F = RT+RS+RR

Total Kolom

G = TT+ST+RT

H = TS+SS+RS

I = TR+SR+RR

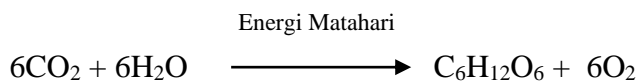
e. Reklasifikasi

Reklasifikasi digunakan untuk memperbaiki hasil klasifikasi yang sudah dilakukan berdasarkan pemrosesan citra digital dan data hasil cek lapangan.

f. Estimasi Kemampuan Daya Serap CO₂

Estimasi kemampuan daya serap CO₂ didasarkan atas konversi dari biomassa bersih sehingga dapat digunakan untuk menghitung massa CO₂. Sebelum melakukan perhitungan penyerapan CO₂ maka terlebih dahulu harus dicari massa molekul relatif dari CO₂ (Mr CO₂). Perolehan dari massa karbon dioksida dihasilkan dari konversi massa karbohidrat. Hal ini ditambah dengan pernyataan

yang dikemukakan oleh Harjadi (1979) dalam Gratimah (2009) bahwa atom karbon yang terdapat pada karbon dioksida berbanding lurus dengan atom karbon yang terdapat pada glukosa ($C_6H_{12}O_6$). Adapun untuk menghitung massa karbon dioksida yaitu dengan mengalikan antara massa $C_6H_{12}O_6$ dengan 1,47. Rumus untuk menghitung massa karbon dioksida (CO_2) dihasilkan dari persamaan reaksi fotosintesis sebagai berikut :



Berdasarkan persamaan reaksi tersebut diketahui bahwa 1 mol $C_6H_{12}O_6$ memiliki kesetaraan dengan 6 mol CO_2 , dengan demikian maka cara perhitungannya yaitu:

$$\text{Mol } C_6H_{12}O_6 = \text{massa } C_6H_{12}O_6 : \text{Mr } C_6H_{12}O_6$$

$$\begin{aligned} \text{Massa } CO_2 &= 6 \times \text{mol } C_6H_{12}O_6 \times \text{Mr } CO_2 \\ &= 6 \times (\text{massa } C_6H_{12}O_6) / (\text{Mr } C_6H_{12}O_6) \times \text{Mr } CO_2 \\ &= 6 \times (\text{massa } C_6H_{12}O_6) / (180) \times 44 \\ &= \text{massa } C_6H_{12}O_6 \times 1,47 \end{aligned}$$

$$\text{Massa } CO_2 = \text{Kandungan Biomassa} \times 1,47$$

Dimana,

Massa CO_2 = jumlah berat CO_2 (kg)

1,47 = angka tetapan yang diperoleh dari persamaan reaksi fotosintesis

Kandungan Biomassa = Massa $C_6H_{12}O_6$

Mr = massa molekul relatif

Ar = atom relative Ar C = 12, Ar H = 1, Ar O = 16

$$\begin{aligned} \text{Mr } C_6H_{12}O_6 &= (6 \times \text{Ar C}) + (12 \times \text{Ar H}) + (6 \times \text{Ar O}) \\ &= (6 \times 12) + (12 \times 1) + (6 \times 16) \\ &= 72 + 12 + 96 \\ &= 180 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mr } CO_2 &= (1 \times \text{Ar C}) + (2 \times \text{Ar O}) \\ &= (1 \times 12) + (2 \times 16) \\ &= 12 + 32 \\ &= 44 \end{aligned}$$

Sumber : Siwi (2012)

3. Tahap Analisis

Analisis data dalam penelitian ini menggunakan metode analisis spasial dan analisis statistik. Analisis spasial dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Sistem Informasi Geografis. Teknik Analisis yang digunakan adalah tumpang susun/overlay antara peta dasar dan peta tematik sehingga dapat dianalisis informasi agihan tematik secara spasial. Melalui dukungan dari Sistem Informasi Geografi, maka dapat dilakukan analisis spasial terkait dengan agihan kelas indeks vegetasi NDVI berdasarkan transformasi indeks vegetasi NDVI. Selain itu, dapat juga dilakukan analisis spasial yang terkait dengan agihan kandungan biomassa hijau dan agihan kemampuan daya serap emisi CO₂ berdasarkan indeks vegetasi NDVI yang dibantu dengan data hasil survei lapangan.

Analisis regresi linier sederhana merupakan model persamaan matematika yang digunakan dalam penelitian untuk mengestimasi biomassa hijau berdasarkan indeks vegetasi NDVI dan pengukuran biomassa lapangan. Dalam hal ini, biomassa berfungsi sebagai variabel terikat Y yang merupakan variabel yang akan diestimasi nilainya. Sementara itu, NDVI berperan sebagai variabel bebas X yang mana merupakan variabel prediktor.

Proses analisis regresi ini dilakukan dengan bantuan IBM SPSS 21 yang merupakan perangkat lunak dengan kemampuan analisis statistik yang cukup tinggi. Analisis regresi dilakukan dengan mengacu pada jumlah sampel pengukuran biomassa lapangan. Persamaan model regresi linier indeks vegetasi NDVI (X) dan biomassa (Y) adalah sebagai berikut :

$$Y = aX + b$$

Dimana :

Y = Variabel terikat (Biomassa)

X = Variabel bebas (NDVI)

a = Penduga bagi intersap α

b = Penduga bagi intersap β

α, β = Parameter yang nilainya tidak diketahui sehingga diduga menggunakan statistik sampel

Sumber : Siwi (2012)

Analisis korelasi digunakan untuk mengetahui kuat lemahnya tingkat atau derajat keeratan hubungan antara variabel X dan variabel Y, secara sederhana dapat diterangkan berdasarkan tabel nilai koefisien korelasi menurut *Guilford Emperical Rules* yang disajikan pada Tabel 1.15. sebagai berikut :

Tabel 1.15. Tingkat Keeratan Hubungan Variabel X dan Variabel Y

| Nilai Korelasi | Keterangan |
|----------------------|---|
| 0,00 - < 0,20 | Hubungan sangat lemah (diabaikan, dianggap tidak ada) |
| $\geq 0,20$ - < 0,40 | Hubungan rendah |
| $\geq 0,40$ - < 0,70 | Hubungan sedang / cukup |
| $\geq 0,70$ - < 0,90 | Hubungan kuat / tinggi |
| $\geq 0,90$ - < 1,00 | Hubungan sangat kuat / tinggi |

Sumber : Muhidin dan Abdurahman (2007)

Analisis korelasi dalam penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui tingkat keeratan hubungan antara variabel biomassa hijau (X) dengan kemampuan daya serap emisi karbon dioksida (CO₂) yang merupakan variabel Y. Dilakukannya analisis korelasi tersebut dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh variabel biomassa hijau terhadap variabel kemampuan daya serap emisi karbon dioksida (CO₂). Analisis korelasi tersebut dilakukan dengan memanfaatkan perangkat lunak IBM SPSS 21. Koefisien korelasi product moment (*Pearson's Coefficient of Correlation*) merupakan jenis analisis korelasi linier yang digunakan dimana bentuk persamaan rumusnya adalah sebagai berikut :

$$r_{xy} = \frac{N \sum XY - (\sum X) \cdot (\sum Y)}{\sqrt{[N \sum X^2 - (\sum X)^2][N \sum Y^2 - (\sum Y)^2]}}$$

Dimana :

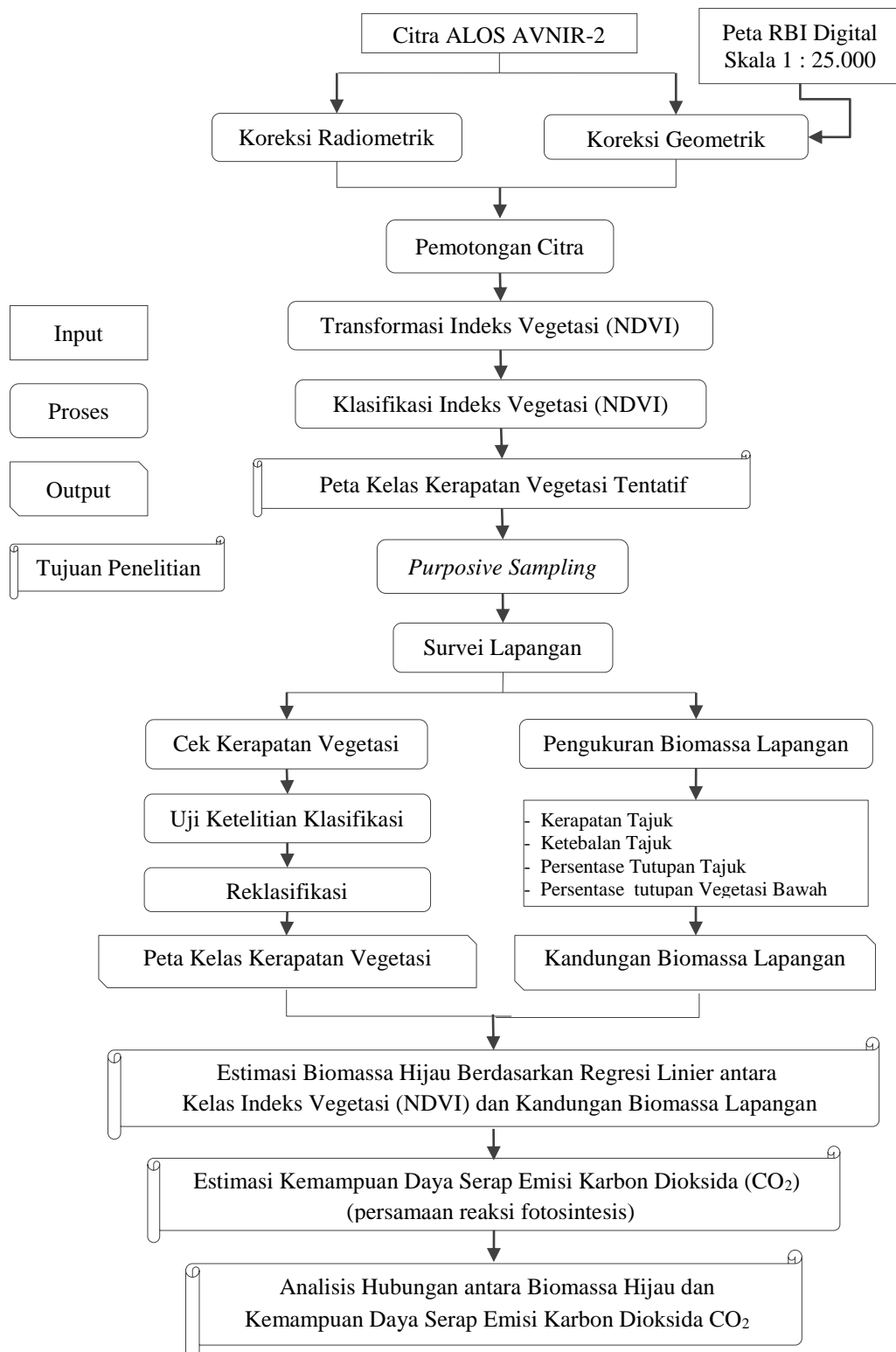
r = Koefisien Korelasi Pearson

X = Skor variabel biomassa hijau

Y = Skor variabel kemampuan daya serap emisi karbon dioksida (CO₂)

N = Ukuran Sampel

Sumber : Siwi (2012)



Gambar 1.11. Diagram Alir Penelitian

1.9. Batasan Operasional

Biomassa didefinisikan sebagai total jumlah materi hidup di atas permukaan pada suatu pohon dan dinyatakan dengan satuan ton berat kering per satuan luas (Brown, 1997 dalam Siwi, 2012).

Biomassa atas permukaan adalah semua material hidup di atas permukaan. Termasuk bagian dari kantong karbon ini adalah batang, tunggul, cabang, kulit kayu, biji, dan daun dari vegetasi baik dari strata pohon maupun dari strata tumbuhan bawah di lantai hutan (Sutaryo, 2009).

Emisi adalah zat, energi dan/atau komponen lain yang dihasilkan dari suatu kegiatan yang masuk dan/atau dimasukkannya ke dalam udara ambien yang mempunyai dan/atau tidak mempunyai potensi sebagai unsur pencemar (*Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 41 Tahun 1999 Tentang Pengendalian Pencemaran Udara*).

Indek Vegetasi merupakan suatu bentuk transformasi spektral yang diterapkan terhadap citra multisaluran untuk menonjolkan aspek kerapatan vegetasi atau pun aspek lain yang berkaitan dengan kerapatan (Danoedoro, 2012).

Karbon Dioksida (CO₂) merupakan satu dari enam GRK yang utama dan dijadikan referensi GRK yang lain dalam menentukan Indek GWP, sehingga GWP-nya = 1. GRK ini banyak dihasilkan dari pembakaran BBF, biomassa dan alih guna lahan (Meviana,dkk, 2004).

Multispektral adalah dua atau lebih panjang gelombang yang digunakan dalam penginderaan jauh seperti panjang gelombang tampak dan panjang gelombang inframerah (Jensen, 1986).

Nilai Spektral adalah nilai digital pada komputer untuk pemrosesan secara digital yang merupakan nilai energi yang dipantulkan dan diemisikan dari permukaan bumi dan dicatat oleh sensor penginderaan jauh (Jensen, 1986 dalam Indrawati, 2001).

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) merupakan kombinasi antara teknik penisbahan dengan teknik pengurangan citra (Danoedoro, 2012).

Penginderaan Jauh adalah suatu ilmu pengetahuan, seni, dan teknologi untuk memperoleh informasi mengenai suatu obyek, wilayah, atau fenomena tertentu

yang ada di permukaan bumi dengan menggunakan sensor tertentu tanpa melakukan kontak langsung dengan obyek yang sedang dikaji (Lillesand et al., 2004).

Respon Spektral adalah tanggapan suatu materi sebagai fungsi panjang gelombang terhadap datangnya tenaga elektromagnetik dalam hal ini berarti tenaga yang dipantulkan dari atau dipancarkan oleh materi tersebut (Jensen, 1986).

Ruang terbuka hijau adalah area memanjang/jalur dan/atau mengelompok, yang penggunaannya lebih bersifat terbuka, tempat tumbuh tanaman, baik yang tumbuh secara alamiah maupun yang sengaja ditanam (Undang-Undang Republik Indonesia No. 26 Tahun 2007).

Sistem Informasi Geografis adalah suatu sistem berbasis komputer untuk menyimpan dan memanipulasi informasi-informasi geografis (Aronoff, 1989) dalam (Prahasta, 2001).

Sumber emisi adalah setiap usaha dan/atau kegiatan yang mengeluarkan emisi dari sumber bergerak, sumber bergerak spesifik, sumber tidak bergerak maupun sumber tidak bergerak spesifik (*Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 41 Tahun 1999 Tentang Pengendalian Pencemaran Udara*).

Vegetasi adalah tetumbuhan, baik bersifat alami maupun hasil budaya, homogen maupun heterogen, dalam fungsinya sebagai penutup lahan dengan ciri-ciri ekologis tertentu (Danoedoro, 1996).